www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Jaargang 20, 1958, no. 10 blz. 285-324 Verschenen 29 januari 1959

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELEND TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUKTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

# FOTOWEERSTANDEN VAN GEPERST EN GESINTERD CADMIUMSULFIDE

door N. A. de GIER, W. van GOOL en J. G. van SANTEN. 621.383.4

*Het onderzoek van de vaste stof heeft, vooral in de laatste jaren, geleid tot het ontstaan van nieuwe elektronische instrumenten, die in toenemende mate in de techniek worden toegepast. De germaniumdiode en de transistor b.v. kregen in korte tijd grote betekenis. Kort geleden werd de reeks dezer instrumenten opnieuw uitgebreid, en wel met de fotogeleidingscel (fotoweerstand) van cadmiumsulfide.*

*In het onderstaande artikel wordt beschreven hoe men deze weerstanden op industriële schaal kan produceren en wordt een aantal van de zeer vele toepassingsmogelijkheden besproken.*

## Inleiding

Reeds tientallen jaren gebruikt men in wetenschap en industrie instrumenten die in staat zijn lichtsignalen om te zetten in elektrische signalen. De oudste van deze zg. fotocellen is de welbekende vacuümfotocel. Deze cel is een geëvacueerde glazen ballon waarin zich bevinden een gevoelige laag (de fotokatode), waaruit het licht elektronen vrijmaakt (uitwendig foto-elektrisch effect), en een anode, die men een hogere potentiaal geeft (ca. 100 V) en waarnaartoe zich de elektronen bewegen. De anodestroom is hier gelijk aan de stroom van de uit de fotokatode vrijgemaakte elektronen. De gevoeligheid is voor dit type fotocel ongeveer $10^{-8}$ ampère per lux, zodat, bij normale waarden van de verlichtingssterkte, het elektrische signaal aanzienlijk versterkt moet worden alvorens gemakkelijk meetbaar of technisch toepasbaar te zijn.

Een stroom die enige malen groter is dan de stroom der vrijgemaakte foto-elektronen, kan men met een cel van dit type verkrijgen door de ballon te vullen met een geschikt gas. De in het veld tussen katode en anode bewegende foto-elektronen ioniseren dan het gas, waardoor een grotere stroom wordt verkregen. Deze zg. gasversterking is des te groter naarmate de anodespanning hoger is; natuurlijk moet deze spanning ruim beneden de doorslagspanning blijven.

Een moderne versie van de vacuümfotocel is de fotomultiplicatorbuis. In deze buis vindt een één- à tien-miljoenvoudige versterking plaats, en wel door secundaire emissie van elektronen. De gevoeligheid van fotocellen van dit type is dientengevolge van de orde van grootte van niet minder dan 0,1 ampère/lux. De buis behoeft echter een spanning van 1000 tot 2000 V. De versterking door secundaire emissie biedt voor bepaalde toepassingen grote voordelen boven het gebruik van normale versterkbuizen.

De vacuümfotocel en de fotomultiplicatorbuis onderscheiden zich van alle andere door hun buitengewoon geringe traagheid; zij kunnen periodieke signalen met een frequentie van 100 MHz nog verwerken. De fotocel met gasvulling is veel trager (maximaal 10 kHz). Het golflengtegebied waarin de drie zojuist besproken fotocellen gevoelig zijn, wordt bepaald door de aard van het katodemateriaal. Slechts voor enkele katodematerialen ligt de bovengrens daarvan, de zg. roodgrens, in de langgolvige helft van het zichtbare gebied of in het infrarood [1]).

Van jongere datum is de ontwikkeling van fotocellen waarvan de werking berust op het inwendig foto-elektrisch effect, dat optreedt in bepaalde, in

[1]) Meer over de vacuümfotocel en de met gas gevulde fotocel vindt men b.v. in Philips techn. T. **2**, 13-17, 1937 en **4**, 57-64, 1939, en over de fotomultiplicatorbuis in **16**, 270-277, 1954.

Een algemeen overzicht over het foto-elektrische effect, fotocellen en toepassingen vindt men o.m. in: V. K. Zworykin en E. G. Ramberg, Photoelectricity and its application, John Wiley, New York 1949, of H. en A. Simon, Der lichtelektrische Effekt und seine Anwendungen, Springer, Berlijn 1958.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



het donker slecht geleidende, vaste stoffen. Naar gelang van de aard van de elektrodes die men aan een schijfje of blokje van een dergelijk materiaal aanlegt, verkrijgt men een fotogeleidingscel, d.i. een instrument waarvan het elektrische geleidingsvermogen varieert met de belichting en dat daarom meestal fotoweerstand wordt genoemd, of een fotospanningscel, d.i. een instrument tussen welks klemmen bij belichting een elektrisch potentiaalverschil optreedt. Seleniumfotocellen van het laatstgenoemde type zijn in de loop van de laatste decennia op grote schaal in gebruik gekomen. Een bekende toepassing ervan is de foto-elektrische belichtingsmeter in de fotografie. Fotospanningscellen zijn trager dan de vacuümfotocel (max. frequentie 2 kHz), maar ca. 10× zo gevoelig [2]). De spectrale gevoeligheidskromme van de seleniumfotospanningscel vertoont een maximum bij ongeveer 6000 Å, d.w.z. midden in het zichtbare deel van het spectrum.

Tot het praktisch toepassen van seleniumfotoweerstanden op grote schaal is het nooit gekomen. Beter bruikbaar bleken o.m. de germaniumpuntcontactdiode en de germanium-fototransistor, die de laatste tien jaar ontwikkeld werden. Door de zeer kleine afmetingen van het gevoelige oppervlak is de als boven gedefinieerde gevoeligheid, de zg. luxgevoeligheid (ampère/lux), van deze instrumenten niet bijzonder groot; de zg. lumengevoeligheid (ampère/lumen) daarentegen is wèl groot. De fototransistor is behalve in het zichtbare gebied ook gevoelig tot vrij ver in het infrarood (ca. 2 μ) [3]). Nog groter lumengevoeligheid kunnen fotoweerstanden van cadmiumsulfide hebben. De lumengevoeligheid van de weerstanden die sinds enige tijd door Philips gemaakt worden en waarvan de gevoelige laag bestaat uit geperst en gesinterd cadmiumsulfide, benadert enigszins die van een multiplicatorbuis. De luxgevoeligheid van deze weerstanden is eveneens zeer groot en wordt ook slechts overtroffen door die van de multiplicatorbuis.

Een goede indruk van de gevoeligheid krijgt men indien we vermelden dat bij een verlichtingssterkte van 1000 tot 10000 lux, de weerstand van de cellen van de orde van grootte van slechts 100 Ω is. De donkerweerstand daarentegen is van de orde van grootte van 100 MΩ. Het is daardoor mogelijk met deze weerstanden een relais te besturen, eenvoudig door relais en weerstand in serie te schakelen en op een spanningsbron aan te sluiten.

Ter voorkoming van misverstanden verdient het misschien aanbeveling omtrent de beide maten waarin men de gevoeligheid van fotocellen en fotoweerstanden uitdrukt, nog het volgende op te merken. Men verkrijgt de luxgevoeligheid (in A/lux) uit de lumengevoeligheid (in A/lumen) door laatstgenoemde te vermenigvuldigen met de grootte (in $m^2$) van het gevoelige oppervlak van de cel of weerstand. Het uitdrukken van de gevoeligheid van een fotoweerstand in een van de genoemde eenheden is natuurlijk alleen mogelijk indien men erbij opgeeft welke de aangelegde spanning was. Het voordeel van het gebruik van deze eenheden is echter dat men daardoor in staat is de gevoeligheid van fotoweerstanden te vergelijken met die van andere fotocellen.

Alvorens de produktiewijze van het voor licht gevoelige materiaal voor de nieuwe fotoweerstanden te bespreken, vertellen we in het kort iets over het verschijnsel van de fotogeleiding, zoals dit o.a. in CdS optreedt. Er zal daarbij blijken door welke grootheid men de kwaliteit van een fotogeleidende stof kan karakteriseren en hoe men de vorm van een fotogeleidingscel het beste kan kiezen.

## Het verschijnsel der fotogeleiding in CdS

In een niet-geleidende vaste stof zijn alle elektronen gebonden aan de ionen of atomen, die tezamen het kristalrooster vormen; vrije elektronen, zoals in metalen voorkomen, zijn er niet of slechts in zeer gering aantal. Ook voor fotogeleidende stoffen zoals CdS geldt dit, tenminste indien ze niet worden blootgesteld aan straling. Valt er wèl straling op, dan treedt absorptie op, d.w.z. het rooster wordt aangeslagen. Dit heeft ten gevolge dat er nu wèl een aantal min of meer vrije elektronen is, waardoor het materiaal is getransformeerd van een isolator in een geleider. We zullen thans nagaan welke grootheden het geleidingsvermogen van een stukje kristallijn fotogeleidend materiaal bepalen en op welke wijze het geleidingsvermogen van die grootheden afhangt.

Stellen we het aantal per $cm^3$ en per seconde geabsorbeerde lichtquanta voor door $F$, de gemiddelde tijd na welke een elektron weer wordt gevangen door een ion of atoom dat een elektron verloren heeft (de zg. gemiddelde levensduur) door $\tau$, en

---

[2]) Indien men de elektrodes van een fotospanningscel met elkaar verbindt, gaat er een stroom vloeien die, indien de weerstand van de uitwendige keten klein is ($\leq 10$ Ω), onafhankelijk is van deze weerstand en evenredig met de verlichtingssterkte. In dit geval is dus ook de gevoeligheid van de cel uit te drukken in ampère/lux. Vgl. Philips techn. T. **8**, 65-71, 1946.

[3]) Een toepassing waarvoor de gevoeligheid in het infrarood van bijzonder belang is, is de transistorpyrometer die kort geleden in dit tijdschrift werd beschreven (Philips techn. T. **20**, 79-83, 1958 (no. 3)).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



nemen we aan dat ieder geabsorbeerd lichtquantum één elektron vrijmaakt, dan geldt [4]) in de stationaire toestand voor het aantal vrije elektronen per cm³:

$$n = \tau F. \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

Bevestigt men aan het CdS-kristal twee elektrodes en legt men een spanning aan, dan bewegen de vrije elektronen zich met een snelheid $v$ die evenredig is met de in het kristal teweeg gebrachte veldsterkte $E$. In formule:

$$v = \mu E. \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

Hierin is $\mu$, de evenredigheidsfactor tussen $v$ en de veldsterkte, de zg. beweeglijkheid van de elektronen. Voor de stroomdichtheid $j$, die gelijk is aan $nev$, volgt uit de formules (1) en (2):

$$j = nev = \mu\tau eEF \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

($e$ is de lading van het elektron).

Heeft het kristal de vorm van een blokje met een lengte $d$ (= afstand der elektrodes), een breedte $l$ en een dikte $t$ (zie *fig. 1*), en heeft men een spanning $V$ aangelegd, dan is $E = V/d$. Vallen er op het kristal per seconde $Q$ lichtquanta die alle een elektron vrijmaken, dan is de (gemiddelde) waarde van $F$ gelijk aan $Q/ldt$. Voor de stroom door het kristal geldt dan:

$$i = jlt = \mu\tau e \frac{V}{d}\frac{Q}{dlt} lt = \frac{\mu\tau eV}{d^2} Q. \quad \ldots \quad (4)$$

Indien de elektrodes van geschikt materiaal vervaardigd en op de juiste manier aangebracht zijn, kunnen elektronen uit de katode het kristal binnentreden, en ook het kristal verlaten door over te gaan in de anode. In dit geval zal een stroom van de zojuist afgeleide grootte permanent kunnen vloeien en verkrijgt men een fotoweerstand die praktisch bruikbaar is. Uit formule (4) blijkt dat men een relatief gevoelige fotoweerstand verkrijgt door een materiaal te gebruiken waarvoor het produkt $\mu\tau$ een grote waarde heeft, en door de afstand der elektrodes klein te kiezen. De lumengevoeligheid — d.i., afgezien van een constante factor, de verhouding tussen $i$ en $Q$ — is blijkbaar onafhankelijk van de grootte van het aan licht blootgestelde oppervlak. De luxgevoeligheid is daarmee evenredig derhalve. Verder blijkt dat de stroom evenredig toeneemt met de aangelegde spanning. Het is dus verstandig om die hoog te kiezen indien men de uiterste gevoeligheid wil bereiken.

[4]) Deze formule is in 't geheel niet gebaseerd op enige theorie omtrent het ontstaan en verdwijnen der vrije elektronen, maar is een zeer algemeen geldende statistische wet.

Bij de afleiding van formule (3) is stilzwijgend aangenomen dat het elektriciteitstransport, indien er een stroom door het kristal vloeit, uitsluitend geschiedt door elektronen. In sommige stoffen kunnen ook de onbezette plaatsen, die de vrijgemaakte elektronen in de ionen (atomen van herkomst) achterlaten, zich bewegen en een bijdrage leveren tot de stroom. In CdS is de beweeglijkheid van deze „gaten" echter verwaarloosbaar klein ten opzichte van die der elektronen. Overigens bevat deze afleiding geen veronderstellingen. Formule (3) geldt dus voor alle fotogeleiders waarin de elektronengeleiding overheerst.

Beschouwt men in formule (4) de grootte van de stroom, gemeten in elektronenladingen per seconde, en vergelijkt men die met het aantal elektronen dat per seconde vrij wordt gemaakt (= $Q$), dan ziet men dat eerstgenoemd aantal een factor $\mu\tau V/d^2$ groter is dan het andere. Onder gunstige omstandigheden kan de waarde van deze zg. versterkingsfactor van de orde van grootte van $10^3$ tot $10^4$ zijn. Het op het eerste gezicht raadselachtige feit dat er, ook in een stationaire toestand, per seconde uit het kristal meer elektronen kunnen wegvloeien dan het licht vrijmaakt, wordt begrijpelijk indien men zich realiseert dat ook uit de negatieve elektrode vrije elektronen ongehinderd het kristal kunnen binnentreden. Een in het kristal vrijgemaakt elektron kan dientengevolge in de stroomkring vele malen rondgaan alvorens weer in het kristal gebonden te worden. Bij afwezigheid van straling — dat wil zeggen indien er niet reeds in het kristal vrije elektronen gevormd en via de anode afgevloeid zijn — is het echter onmogelijk dat een groot aantal elektronen uit de katode het kristal binnengaat, en wel doordat dan het optreden van een ruimtelading dit verhindert.

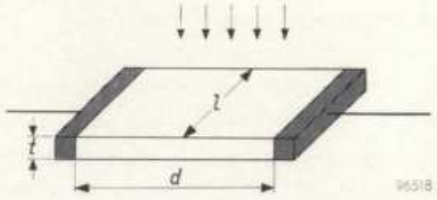



Fig. 1. Schematische voorstelling van een blokje fotogeleidend materiaal met twee elektrodes op afstand $d$. De aan straling blootgestelde oppervlakte is $l \times d$.

## Het gebruik van CdS als fotogeleidend materiaal

Hoewel het reeds vele jaren bekend is dat men in een groep CdS-kristallen exemplaren kan aantreffen waarvan het geleidingsvermogen een uitzonderlijk grote fotogevoeligheid vertoont, is een produktie op grote schaal van gevoelige fotoweerstanden van dit materiaal eerst kort geleden mogelijk geworden. Maakt men b.v. een aantal CdS-monokristallen volgens de methode van Frerichs [5]), dan vertonen deze onderling niet alleen zeer grote verschillen in vorm en in donkerweerstand, maar

[5]) R. Frerichs, Phys. Rev. **72**, 594, 1947. Hierbij wordt cadmiumdamp tot reactie gebracht met $H_2S$ in een kwartsbuis waardoor behalve $H_2S$ ook langzaam waterstof stroomt. De damp produceert men door in het „bovenstroomse" deel van de buis metalliek cadmium te verhitten tot 800 à 1000 °C. In het koudere, „benedenstroomse", deel van de buis zetten zich dan monokristallen van CdS af.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



óók in fotogevoeligheid; bij sommige is deze zeer groot, bij andere klein of soms zelfs nihil. Weliswaar kan men dus door uitzoeken zeer goede exemplaren in handen krijgen, maar voor produktie op grote schaal van materiaal voor fotoweerstanden is deze methode ongeschikt.

Het wetenschappelijk onderzoek dat de laatste jaren allerwegen aan CdS en verwante verbindingen (cadmiumselenide en cadmiumtelluride) is verricht, heeft aan het licht gebracht dat fotogeleiding slechts optreedt bij aanwezigheid van bepaalde „verontreinigingen" (zg. activators) in het CdS, terwijl andere juist weer storend zijn. Tot de activators behoren de elementen Cu, Ag, Cl en Ga [6]). Een storend element is ijzer; hiervan mag ten hoogste één atoom op $10^6$ Cd-atomen aanwezig zijn. Men moest dus trachten cadmiumsulfidekristallen te maken waarin geschikte verontreinigingen aanwezig zijn, en wel volgens een zodanige produktiemethode dat men de concentraties van deze activators goed in de hand heeft. Dit is mogelijk gebleken. Men gaat daarbij uit van CdS dat als neerslag ontstaat indien men zwavelwaterstof door een oplossing van een Cd-zout leidt. Men verkrijgt dan zeer zuiver CdS in de vorm van een buitengewoon fijn poeder (korrelgrootte $\leqq 0{,}1\ \mu$). Na toevoegen van de gewenste activators — voor de in dit artikel te bespreken fotoweerstanden: koper en gallium — wordt het poeder in een gasatmosfeer tot 700 à 900 °C verhit en enige uren op die temperatuur gehouden. De korreltjes zijn na deze warmtebehandeling samengegroeid tot veel grotere korrels (10-100 $\mu$), waarin het toegevoegde activatormateriaal zich homogeen verdeeld heeft. Deze korrels vertonen een grote fotogevoeligheid.

Voor het probleem hoe uit een dergelijk poeder een stuk homogeen materiaal te maken dat in lichtgevoeligheid zo weinig mogelijk voor de korrels onderdoet, is in het Philipslaboratorium de volgende oplossing gevonden. Gebleken is, dat men het poeder, zonder toevoeging van een bindmiddel, zeer goed tot pillen kan persen. Na het persen is de vulfactor ongeveer 90%, wat zeer hoog is in vergelijking met vele andere stoffen en verklaard moet worden uit de aanwezigheid van een zekere plasticiteit van de korrels. Bij het persen ontstaan onregelmatigheden in het kristalrooster, die de fotogevoeligheid zeer ongunstig beïnvloeden. In tegenstelling met de ongunstig werkende verontreinigingen kan men deze onregelmatigheden echter doen verdwijnen. Dit geschiedt door middel van een tweede warmtebehandeling. Een juiste keus van de temperatuur, de duur der verhitting en de atmosfeer zijn daarbij van belang. Tijdens deze warmtebehandeling sinteren de korrels zodanig aan elkaar dat men uiteindelijk een stukje materiaal verkrijgt dat niet alleen een flinke fotogevoeligheid vertoont, maar ook redelijk sterk is. Wel blijven de korrels als zodanig herkenbaar in het materiaal; zie *fig. 2*.

Fig. 2. Doorsnede van een plaatje van geperst en gesinterd cadmiumsulfide. De korrels zijn nog duidelijk te onderscheiden. Vergroting ca. 150×.

De warmtebehandeling doet het fotogeleidingsvermogen toenemen, deels door het verdwijnen van roosterfouten, deels door het verbeterde contact tussen de korrels. De donkerweerstand, die door de overgangsweerstanden relatief veel minder sterk wordt beïnvloed, neemt door het sinteren niet ernstig af. Zoals vanzelf spreekt, moet men de kans dat er bij het persen verontreinigingen in het materiaal gebracht worden, tot het uiterste beperken. Het is mogelijk gebleken aan deze eis te voldoen door stempel en matrijs van een geschikt materiaal te vervaardigen en ze bijzonder zorgvuldig af te werken.

Vergelijkt men het op bovenstaande wijze geproduceerde materiaal met een waarbij de mechanische stevigheid is verkregen door een bindmiddel aan het poeder toe te voegen, dan springt een groot verschil in fotogeleidingsvermogen in het oog: de effectieve waarde van het produkt $\mu\tau$ is voor het geperste en gesinterde materiaal aanzienlijk groter dan voor het andere.

Ten aanzien van de dosering van de toevoegsels nog het volgende. Gebleken is dat er tussen de concentraties van het koper en het gallium een zeer bepaalde (constante) verhouding moet bestaan. Een overmaat Cu doet de fotogeleiding weer afnemen, een relatief hoge Ga-concentratie veroorzaakt een

[6]) Alleen de twee eerstgenoemde zijn essentieel voor de lichtabsorptie. De andere doen niets anders dan ervoor zorgen dat Cu en/of Ag op de juiste wijze in het kristalrooster worden ingebouwd.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



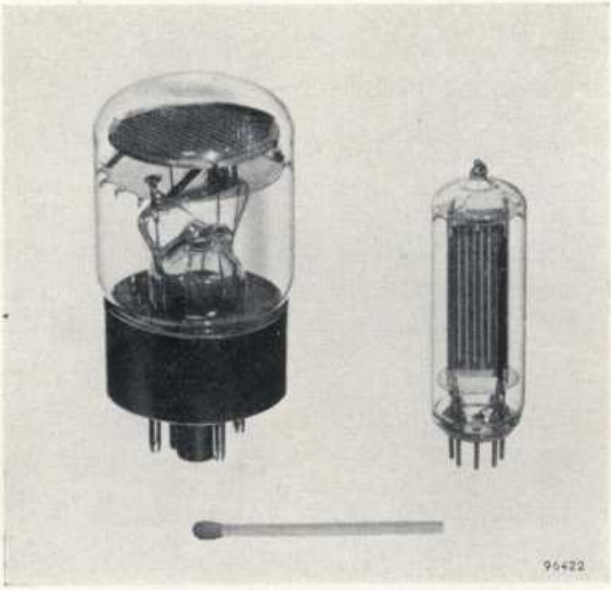


Fig. 3. De CdS-fotoweerstanden ORP 30 (links) en ORP 90 (rechts). Deze weerstanden werden ontwikkeld door de Hoofdindustriegroep Elektronenbuizen.

groot donkergeleidingsvermogen. Afwijkingen van de juiste verhouding hebben een des te sterker effect naarmate de concentraties der toevoegsels hoger zijn. Anderzijds wenst men toch deze concentraties vrij hoog te kiezen opdat ze groot zijn ten opzichte van die van de reeds aanwezige verontreinigingen. Alleen indien dit het geval is, kan men erop rekenen een produkt met niet al te zeer fluctuerende eigenschappen te krijgen. Dit alles maakt dat men in de keus van deze concentraties niet veel vrijheid heeft.

## De fotoweerstanden ORP 30 en ORP 90

*Fig. 3* toont twee fotoweerstanden van geperst en gesinterd cadmiumsulfide. Bij beide bevindt zich in de glazen buis (die slechts voor bescherming dient) een 0,8 mm dik plaatje van het fotogeleidende materiaal, waarop elektrodes zijn aangebracht in de vorm van twee in elkaar grijpende kammen; zie *fig. 4*. Door deze elektrodevorm is tegelijk voldaan aan beide voorwaarden die voor een grote gevoeligheid noodzakelijk zijn, nl. een groot gevoelig oppervlak en een kleine elektrodeafstand; vgl. formule (4). De afstand tussen de „tanden" is 1 mm. Het aanbrengen der elektrodes geschiedt door verdampen in vacuüm van een geschikt materiaal (Cu, Ag, Al of Au) terwijl zich op het CdS-plaatje een masker bevindt. Zoals eveneens uit vergelijking (4) blijkt, neemt de gevoeligheid toe met de aangelegde spanning. De hoogste toelaatbare spanning wordt bepaald door de elektrodeafstand. Men ziet dat bij de ORP 90 het plaatje evenwijdig aan de as van de buis is opgesteld, bij de ORP 30 loodrecht daarop. De eerstgenoemde buis is dus bedoeld voor lichtinval van opzij, de andere voor lichtinval van boven af. De voet van de ORP 30 is gelijk aan die van een miniatuurbuis (7-pens), dat wil zeggen: gelijk aan die van de fotocellen 90 CV en 90 CG.

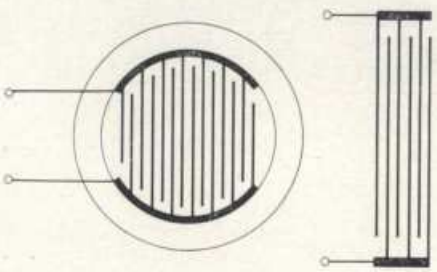


Fig. 4. De vorm der elektrodes (schematisch) van de CdS-fotoweerstanden ORP 30 (links) en ORP 90 (rechts). Deze elektrodevorm maakt het mogelijk een grote gevoelige oppervlakte te combineren met een kleine elektrodeafstand.

Metingen aan deze fotoweerstanden hebben geleerd dat de gevoelige laag de volgende eigenschappen heeft:

a) Gevoeligheid. De waarde van het produkt $\mu\tau$ blijkt gemiddeld 0,5 cm²/V te bedragen [7]).

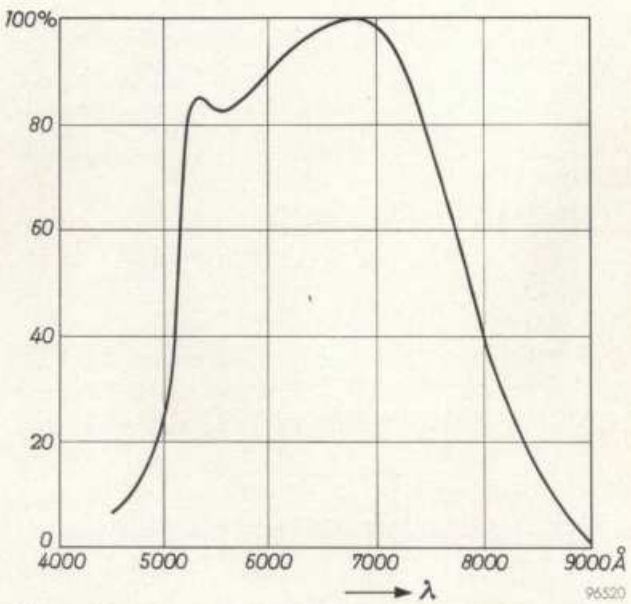



Fig. 5. Spectrale gevoeligheidsverdeling van fotoweerstanden van geperst en gesinterd CdS. Het materiaal vertoont een grote gevoeligheid tot vrij ver in het infrarood. De maximumgevoeligheid valt in het rood.

b) Spectrale gevoeligheid (*fig. 5*). De weerstanden zijn gevoelig in bijna het gehele zichtbare gebied en tot vrij ver in het infrarood. De maximale gevoeligheid ligt bij ongeveer 6800 Å.

c) Verband stroom-spanning. De stroom door de weerstand varieert nagenoeg lineair met de aangelegde spanning. De machtsexponent is 1,05 tot 1,10 (*fig. 6*). Hieruit blijkt dus dat de contacten tussen de korrels voldoen aan de wet

[7]) In monokristallen van geactiveerd CdS meet men wel $\mu\tau$-waarden van de orde van grootte van 10 cm²/V; bij poederlagen in binder is $\mu\tau$ echter niet groter dan 0,01 tot 0,1 cm²/V.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



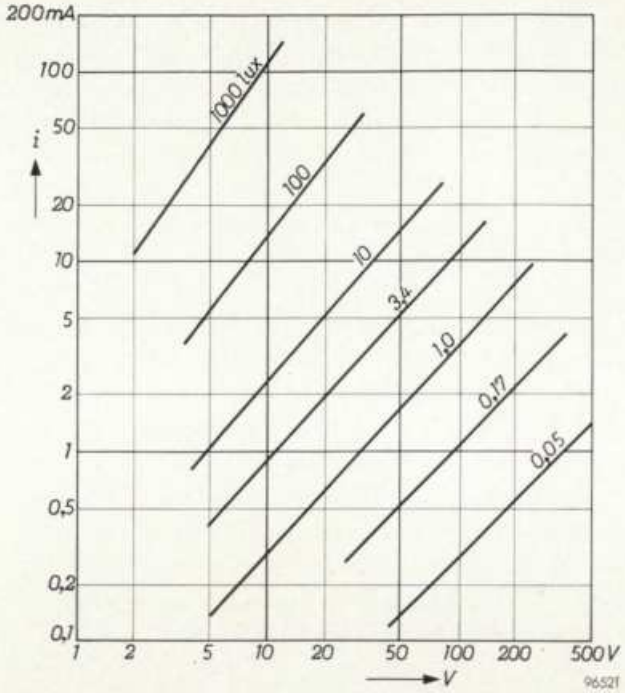



Fig. 6. Het verband tussen stroom $i$ en spanning $V$, gemeten aan een fotoweerstand ORP 30 bij verschillende verlichtingssterkten. Dit verband kan worden beschreven met de formule $i = \text{const.} \times V^{\alpha}$, dat wil zeggen: het verband tussen log $i$ en log $V$ is lineair. De waarde van $\alpha$ is voor alle rechten ongeveer dezelfde en ligt bij één, met andere woorden: voor geperst en gesinterd CdS is $i$ nagenoeg evenredig met $V$.

van Ohm. (Bij materialen waaraan een binder is toegevoegd, is dit niet het geval; daar varieert de stroom met de derde à vierde macht van de spanning.)

d) Verband stroom-verlichtingssterkte. Ook dit verband wijkt niet sterk van het lineaire af. De machtsexponent is hier ongeveer 0,85 (*fig. 7*).

e) Invloed van de temperatuur. Deze invloed is zeer gering. Indien de temperatuur stijgt van 0 °C tot 40 °C, neemt de stroom, zoals *fig. 8* toont, slechts 10% af. In dit opzicht onderscheiden fotoweerstanden van cadmiumsulfide zich bijzonder gunstig van andere.

f) Snelheid (*fig. 9*). Snelle wisselingen in de verlichtingssterkte kunnen de fotoweerstanden niet volgen. Ze reageren echter sneller naarmate de verlichtingssterkte groter is; de stroom daalt na het einde van de belichting binnen 5 milliseconde tot de halve waarde indien de verlichtingssterkte 100 lux is, maar pas na 0,25 s indien deze 0,1 lux is.

g) De donkerweerstand. De weerstand van de ORP 30 is in het donker groter dan $10^7$ Ω, die van de ORP 90 groter dan $10^8$ Ω.

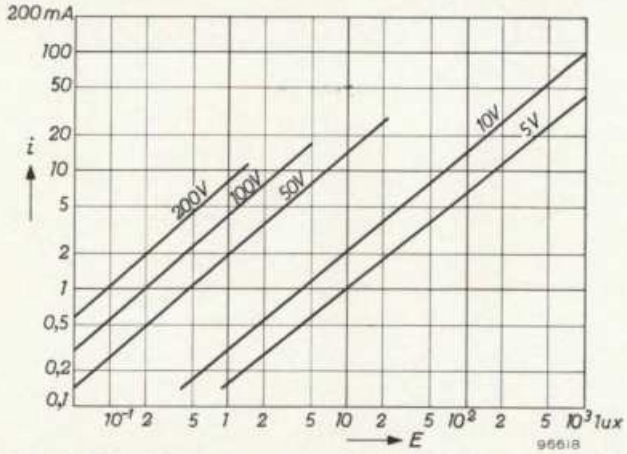



Fig. 7. Het verband tussen stroom $i$ en verlichtingssterkte $E$, gemeten aan de ORP 30, bij verschillende waarden van de aangelegde spanning. Ook dit verband is een machtsfunctie met een macht die dicht bij één ligt, dat wil zeggen dat $i$ ook nagenoeg evenredig is met de verlichtingssterkte.

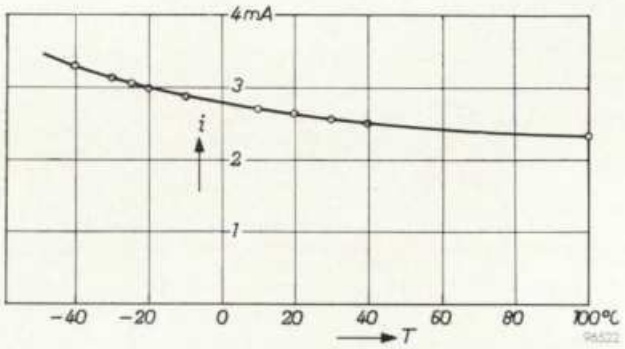



Fig. 8. Het fotogeleidingsvermogen van weerstanden van geperst en gesinterd CdS hangt slechts zwak van de temperatuur af. De figuur geeft het verband tussen de stroom $i$ door een cel van het type ORP 30 en de temperatuur $T$, voor het geval dat de aangelegde spanning 10 V bedraagt en de verlichtingssterkte 10 lux.

Ten einde de eigenschappen van de nieuwe fotoweerstanden snel en kwantitatief te kunnen vergelijken met die van andere instrumenten, is een aantal kenmerkende grootheden samengevat in *tabel I*. De gevoeligheid van de instrumenten wordt daarin zowel gegeven in ampère per lumen ($S$) als in ampère per lux ($H$). We hebben er reeds op gewezen dat de verhouding van deze beide gevoeligheidswaarden gelijk is aan de grootte van het gevoelig oppervlak ($A$).

Substitueert men in formule (4) voor $\mu\tau$ de eerder genoemde waarde van 0,5 cm²/V, voor het geabsorbeerde aantal quanta per lumen $2\times10^{16}$ en voor de lading van het elektron $1{,}6\times10^{-19}$ coulomb, dan vindt men dat voor de CdS-weerstanden geldt:

$$S = 1{,}6\times10^{-3}\frac{V}{d^2} \text{ ampère/lumen} \quad . \; . \; . \; . \quad (5)$$

en

$$H = 1{,}6\times10^{-7}\frac{AV}{d^2} \text{ ampère/lux.} \quad . \; . \; . \quad (6)$$

In deze formules is $V$ uitgedrukt in volts, $d$ in cm en $A$ in cm².

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



**Tabel I.** Vergelijking van de eigenschappen van diverse lichtgevoelige instrumenten. De waarden van de gevoeligheid gelden bij bestraling met een wolfraambandlamp met een kleurtemperatuur van 2800 °C. In de vierde, vijfde en zesde kolom vindt men resp. het aantal geabsorbeerde quanta per lumen ($N$), de hoogste toelaatbare waarde van de stroom ($I_{max}$) of van het in de cel (resp. weerstand) gedissipeerde vermogen ($Q_{max}$) en de hoogste toelaatbare frequentie van periodieke wisselingen van de verlichtingssterkte ($f_{max}$).

| Type van de cel of weerstand | $S$ (A/lumen) | $A$ (cm²) | $H$ ($10^{-4}$ A/lux) | $N$ ($10^{16}$ qu/lumen) | $I_{max}$ $Q_{max}$ | $f_{max}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Vacuümfotocel 90 AV . . . | 0,00005 | 4 | 0,0002 | 1 | 10 μA | 100 MHz |
| Met gas gevulde cel 90 AG | 0,00013 | 4 | 0,0005 | 1 | 10 μA | 10 kHz |
| Fotomultiplicatorbuis 50 AVP . . . . . | 500 | 8 | 4000 | 1 | 100 mA | 100 MHz |
| Seleniumspanningscel . . . | 0,0005 | 10 | 0,005 | 1 | 50 μW/lumen | 2 kHz |
| Fotodiode OAP 12 . . . . | 0,05 | 0,01 | 0,0005 | 20 | 0,12 W | 50 kHz |
| Fototransistor OCP 71 . . | 0,3 | 0,07 | 0,02 | 20 | 0,10 W | 750 kHz |
| CdS-fotoweerstand ORP 30 (bij 100 V) . . . . . | 16 | 2,5 | 40 | 2 | 1,2 W | bij 30 lux: 3 Hz<br>bij 4 lux: 1 Hz |

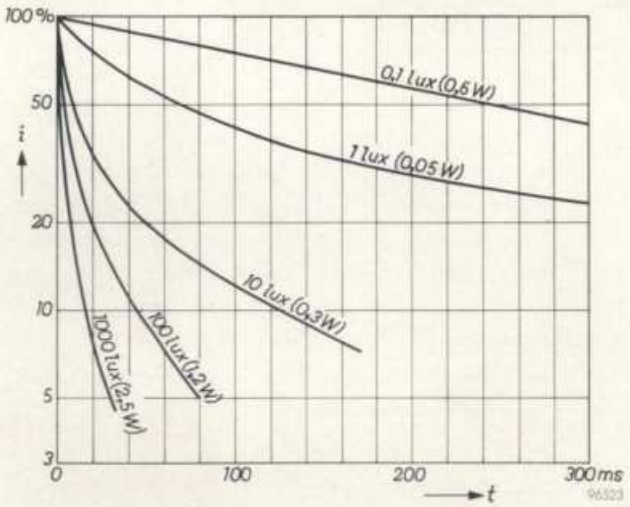



Fig. 9. Een indruk van de traagheid van de CdS-weerstanden verkrijgt men door te meten hoe de stroom ($i$) na het uitschakelen van de verlichting varieert met de tijd ($t$). Dit verloop blijkt af te hangen van de verlichtingssterkte die vóór het uitschakelen van het licht aanwezig was. Bij grote verlichtingssterkten neemt de stroom vrij snel af tot een kleine fractie van zijn oorspronkelijke waarde, bij kleine verlichtingssterkten veel langzamer. Het in de weerstand tijdens de belichting gedissipeerde vermogen is bij de diverse krommen tussen haakjes genoteerd.

## Toepassingsmogelijkheden van CdS-fotoweerstanden

CdS-fotoweerstanden kunnen met succes vacuümfotocellen en met gas gevulde fotocellen vervangen in die toepassingen waar grote snelheid niet belangrijk is maar gevoeligheid wèl. Voor deze toepassingen bieden ze het grote voordeel dat ze direct met een relais in serie geschakeld kunnen worden; versterkers en thyratrons zijn niet nodig. Dit leidt tot een aanmerkelijke vereenvoudiging van de schakelingen.

Naast de juist genoemde groep van toepassingen, die dus in principe niet nieuw zijn, bestaat er ook reeds een aantal toepassingen van de CdS-fotoweerstanden die met een vacuümcel of anderszins niet realiseerbaar zijn. Van beide groepen zullen we een of meer voorbeelden bespreken.

Tot de eerstgenoemde groep van toepassingen behoort de vlambeveiliging bij automatisch werkende oliestookinstallaties, waarvoor het type ORP 90 bijzonder geschikt is. Hierbij „kijkt" de fotocel, die zich meestal in het kanaal voor de luchttoevoer bevindt, naar de vlam. De ontsteking geschiedt elektrisch, en wel, evenals in een verbrandingsmotor, door middel van een bougie. Indien, een zekere tijd nadat de olietoevoer is geopend en de ontsteking is werking is gesteld, de olie nog niet mocht zijn ontbrand, zet de beveiligingsinstallatie automatisch de olietoevoer stop en wordt een alarmsignaal gegeven. Vindt de ontbranding wèl op de juiste wijze plaats, dan schakelt de installatie even later de ontsteking uit. Ook indien de vlam dooft, wordt de olietoevoer afgesloten en een alarmsignaal gegeven.

Een geheel nieuwe toepassing is de kraakvrije potentiometer. De tot nu toe gebruikelijke potentiometers — dat zijn weerstanden met verplaatsbare aftakking — vertonen alle het verschijnsel dat de uitgangsspanning niet volkomen continu met de positie van het glijdende contact varieert. Dit leidt tot het optreden van kraakverschijnselen gedurende de tijd dat het contact beweegt. In

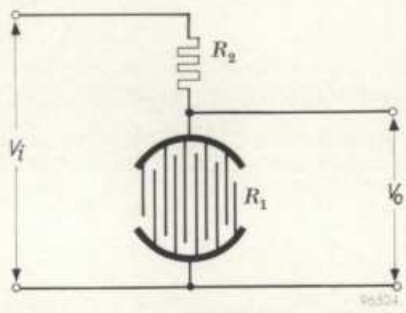



Fig. 10. Kraakvrije potentiometerschakeling, bestaande uit een vaste weerstand $R_2$ en een fotoweerstand $R_1$. Toeneming van de verlichtingssterkte doet de weerstand van $R_1$, en daarmee de uitgangsspanning $V_o$, dalen. Door $R_2$ ongeveer gelijk 2 MΩ te kiezen, verkrijgt men een potentiometer die bruikbaar is als sterkteregelaar in een radiotoestel.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



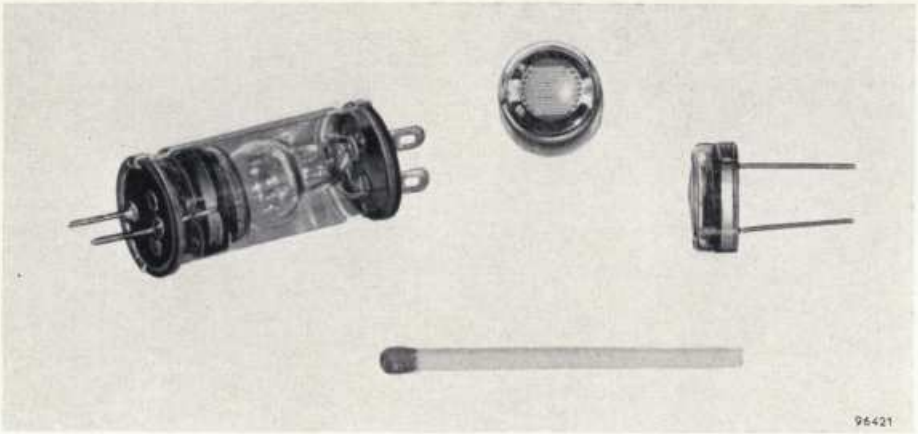



Fig. 11. Indien men de belichting van een CdS-weerstand die is opgenomen in een kraakvrije potentiometerschakeling, regelt door variatie van de stroom die door een gloeilampje vloeit, is het voordelig weerstand en lampje tot één geheel te verenigen en te monteren in een lichtdicht busje. De foto toont een dergelijk apparaatje (waarvan het busje is opengesneden), hetwelk werd ontwikkeld door de Hoofdindustriegroep Industriële componenten en materialen. Verder twee CdS-weerstanden nog zonder lampje. Indien men het lampje voedt met 6,3 V (de nominale spanning), heeft het een zeer lange levensduur.

sommige elektronische apparatuur — we denken speciaal aan meetapparaten, versterkers, radio- en televisietoestellen — kan dit hinderlijk zijn. Men kan een kraakvrije potentiometerschakeling maken door een vaste weerstand in serie te schakelen met een CdS-weerstand. Door variëren van de lichtstroom die op de fotoweerstand valt, verandert men diens weerstand en daarmee de uitgangsspanning (*fig. 10*). Indien men de genoemde lichtstroom regelt door verandering van de stroom die door de gloeidraad van een gloeilampje vloeit, resulteren dank zij de traagheid van het gloeilampje uit eventuele sprongsgewijze veranderingen in deze stroom geen kraakverschijnselen. Een kraakvrije potentiometer die voldoet aan de eisen welke aan de sterkteregelaar van een gewoon radiotoestel gesteld worden, kan men b.v. verkrijgen door een CdS-fotoweerstand die een donkerweerstand van ten minste 10 MΩ heeft, te combineren met een vaste weerstand van ca. 2 MΩ. Indien de fotoweerstand niet belicht wordt, is de uitgangsspanning $^{10}/_{12}$ ofwel ruim 80% van de ingangsspanning. Bij een verlichtingssterkte van 10 000 lux echter is de fotoweerstand ongeveer 200 Ω en de uitgangsspanning 1/10 000 van de ingangsspanning. De uitgangsspanning kan dus bijna een factor 10 000 variëren, terwijl de totale weerstand van de potentiometer nooit kleiner dan 2 MΩ kan worden [8]).

Daar het verband tussen stroom en spanning voor fotoweerstanden van geperst en gesinterd CdS vrijwel lineair is (fig. 6) — d.w.z. nagenoeg voldoet aan de wet van Ohm — is de weerstand ervan nagenoeg onafhankelijk van de aangelegde spanning en introduceert de schakeling van fig. 10 in een radiotoestel slechts een zeer geringe vervorming. Gebleken is dat deze vervorming bij een uitgangsspanning van 0,2 V ten hoogste 0,2% bedraagt. Daar de sterkteregelaar zich in een radiotoestel aan de ingang van de laagfrequentieversterker bevindt, wordt deze spanning in de praktijk nooit bereikt en is de vervorming dus verwaarloosbaar. Zou men in de schakeling van fig. 10 de CdS-fotoweerstand vervangen door een andere — dat wil zeggen door een die niet aan de wet van Ohm voldoet —, dan zou men een schakeling verkrijgen die weliswaar ook kraak-

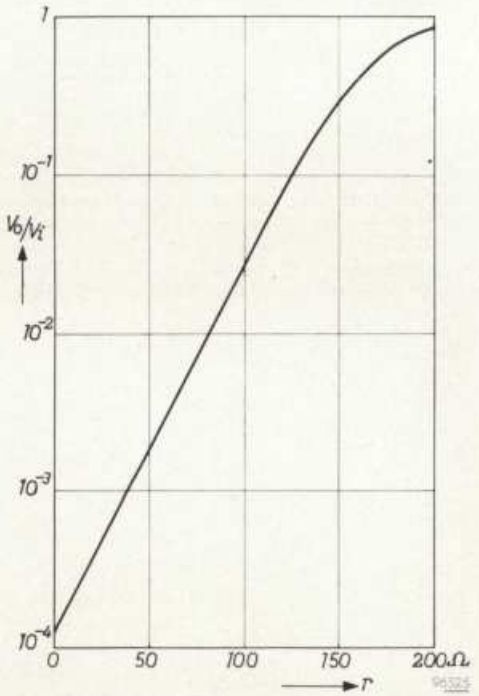



Fig. 12. De uitgangsspanning $V_o$ (in verhouding tot de ingangsspanning $V_i$) van een kraakvrije potentiometerschakeling, bestaande uit een CdS-weerstand van het type van fig. 11 en een vaste weerstand van 2 MΩ, als functie van de waarde $r$ van de regelweerstand in de voedingsschakeling van het gloeilampje. In het gebied waar de uitgangsspanning niet groter is dan 10% van de ingangsspanning, is het verband logaritmisch. De voedingsspanning van het lampje bedroeg 6,3 V.

[8]) Ingeval men werkt met een fotoweerstand en een lamp die vrij van elkaar zijn opgesteld, is ook een mechanische regeling van de verlichting mogelijk, b.v. door van twee tegen elkaar gelegen platen waarin zich diafragma's bevinden, er één te laten draaien. Indien men hierbij de verlichtingssterkte als functie van de verdraaiingshoek logaritmisch een factor 10 000 wil variëren, is een zeer bijzondere diafragmavorm vereist. Ook deze constructie is kraakvrij mits men de diafragma's mechanisch goed afwerkt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



vrij is, maar die onbruikbaar is in een radiotoestel.

*Fig. 11* toont een kleine CdS-fotoweerstand die tot één geheel verenigd is met een gloeilampje en die zich bijzonder goed leent voor toepassing in radio- en televisieapparaten. Ten einde storing door

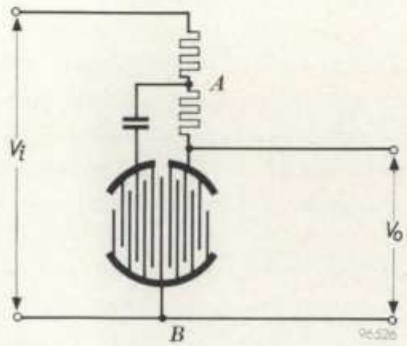



Fig. 13. Principe van een sterkteregelaar met fysiologische sterkteregeling, waarin gebruik wordt gemaakt van een fotogeleidingscel. Voor gebruik in deze schakeling moet de cel méér dan twee (in casu drie) elektrodes hebben. Bij vergroting van de verlichtingssterkte neemt de uitgangsspanning voor lage frequenties minder sterk af dan voor hoge.

licht uit de omgeving te voorkomen, is het apparaatje in een lichtdicht busje gemonteerd. De uitgangsspanning van een potentiometer volgens het schema van fig. 10 varieert in een deel van het gebied exponentieel met de waarde van de juist genoemde regelweerstand (*fig. 12*).

Door CdS-weerstanden te construeren met méér dan twee elektrodes, is het mogelijk geworden een foto-elektrische sterkteregelaar te ontwerpen met zg. fysiologische sterkteregeling. Hierbij worden, indien de uitgangsspanning klein is, de lage tonen minder verzwakt dan de hoge. Men vermijdt op die manier dat bij verminderen van de uitgangsspanning de lage tonen eerder onhoorbaar worden dan de andere. Het principe van de schakeling vindt men weergegeven in *fig. 13*. Indien de beide variabele

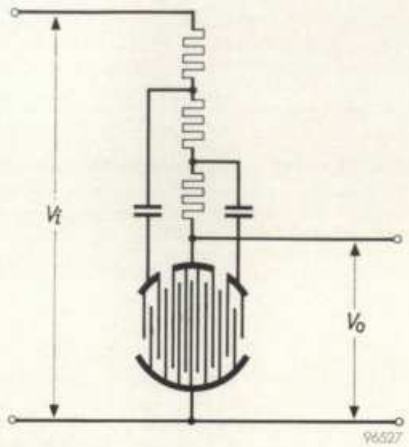



Fig. 14. Sterkteregelaar met fysiologische sterkteregeling zoals in de praktijk kan worden toegepast. De weerstand heeft hier vier elektrodes.

weerstanden (de beide delen van de fotocel) een hoge waarde hebben, speelt de tak waarin de condensator zich bevindt, ten opzichte van de andere geen belangrijke rol. Hebben de variabele weerstanden een kleine waarde (véél licht op de fotoweerstand), dan is de impedantie van het potentiometerdeel *A-B* voor lage frequenties aanmerkelijk groter dan voor hoge; met andere woorden, voor lage frequenties is de uitgangsspanning — die in een stationaire toestand een constante, niet van de frequentie afhangende fractie van de spanning tussen *A* en *B* is — een grotere fractie van de ingangsspanning dan bij hoge. Daar de schakeling van fig. 13 het gewenste effect niet in voldoende

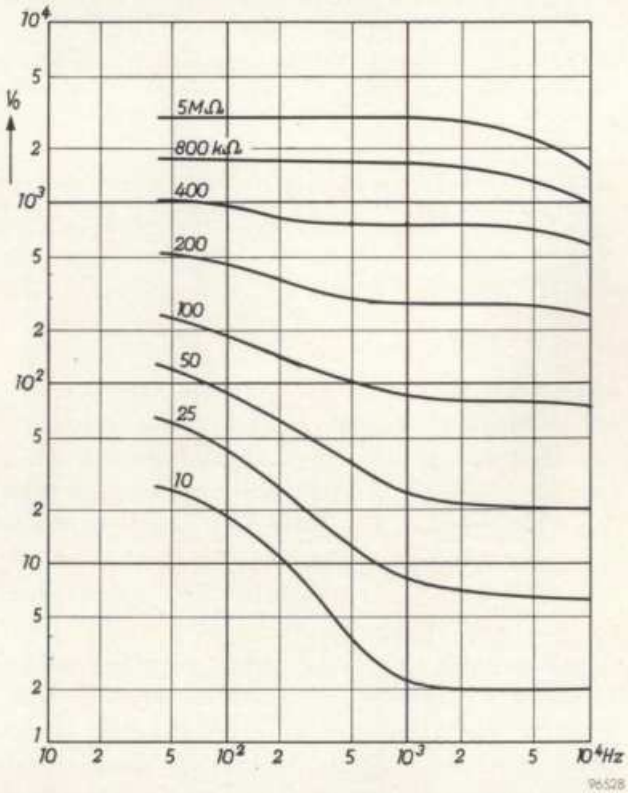



Fig. 15. Frequentiekarakteristieken van de schakeling van fig. 14 voor diverse waarden van de weerstand van de fotogeleidingscel. Bij hoge waarden van de weerstand is de uitgangsspanning ($V_o$) tussen 50 en 5000 Hz nagenoeg onafhankelijk van de frequentie, bij lage waarden is $V_o$ bij 50 Hz ca. 10× zo groot als bij 1000 Hz.

sterke mate teweegbrengt — de verhouding der uitgangsspanningen bij 100 en 1000 Hz is niet groter dan 3 à 4, terwijl men 10 à 20 behoeft —, gebruikt men in de praktijk de iets gecompliceerder schakeling van *fig. 14*. *Fig. 15* toont de frequentiekarakteristiek van laatstgenoemde schakeling [9]).

[9]) De tot nu toe gebruikelijke schakeling (met koolpotentiometer) vindt men o.a. kort besproken in Philips techn. T. **19**, 7, 1957 (no. 1), en getekend geheel links in de op die bladzijde voorkomende figuur 8.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



Men kan zich afvragen of er geen moeilijkheden optreden wanneer men het lampje voedt met wisselstroom. De lichtstroom ervan vertoont dan een rimpel met een frequentie die het dubbele is van de netfrequentie. De uitgangsspanning van een po-

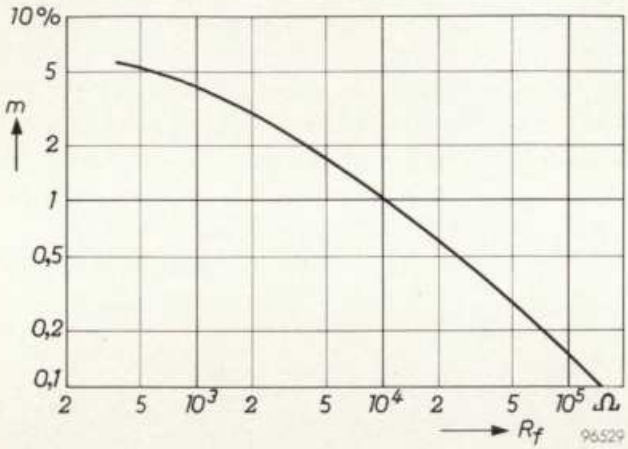



Fig. 16. Voedt men in de schakeling van fig. 14 het lampje met wisselstroom, dan ontstaat er een modulatie met de dubbele netfrequentie, waarvan de diepte $m$ afneemt indien de weerstand $R_f$ van de fotoweerstand toeneemt. Indien deze weerstand groter dan 2000 Ω is — d.w.z. in het gebied waar men zich normaliter bevindt —, is deze modulatie onhoorbaar ($m < 3\%$).

tentiometer met CdS-fotoweerstand zal dan ook een periodieke amplitudeverandering vertonen. Gebleken is dat men een dergelijke 100 Hz-modulatie van een geluidssignaal niet kan waarnemen indien deze kleiner is dan 3%. Naar uit de in *fig. 16* weergegeven meetresultaten blijkt, is bij de waarden die de fotoweerstand in de schakeling van fig. 14 onder normale omstandigheden heeft, de modulatie aanzienlijk geringer (bij 150 kΩ: 0,1%; bij 50 kΩ: 0,3%) en derhalve volkomen onwaarneembaar. Alleen bij zeer lage waarden van de fotoweerstand (zeer kleine uitgangsspanning) wordt de juistgenoemde grenswaarde enigszins overschreden.

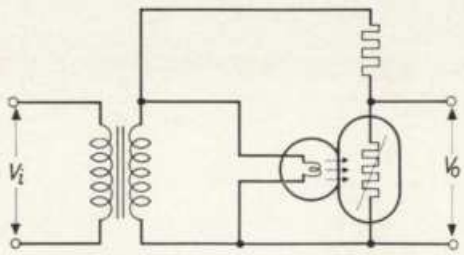
In het voorafgaande zagen wij dat na het uitschakelen van de verlichting het geleidingsvermogen niet ogenblikkelijk tot de minimumwaarde daalt (fig. 9). Dit geldt algemeen: het geleidingsvermogen volgt veranderingen in de verlichtingssterkte niet ogenblikkelijk. Ten gevolge hiervan vertoont een sterkteregelaar als boven beschreven een zekere instellingstraagheid. Dit effect is echter voldoende klein om niet hinderlijk te zijn.

Potentiometers met CdS-weerstand hebben behalve kraakvrijheid nog méér gunstige eigenschappen. Daar de fotoweerstand met zijn lampje enerzijds en de regelweerstand voor het lampje anderzijds niet dicht bij elkaar gemonteerd behoeven te worden, kan men ze ieder aanbrengen op de gunstigste plaats. In het geval van een sterkteregelaar voor een gewoon radiotoestel kan men dus de potentiometer dicht bij de detectiediode [10]) plaatsen, de regelweerstand daarentegen op een voor de luisteraar gemakkelijk bereikbare plaats. Men kan hierbij zelfs zo ver gaan dat men de regelweerstand monteert in een apart doosje, hetwelk door een snoer van enige meters lengte met het toestel is verbonden. Aldus is op eenvoudige wijze bediening op afstand mogelijk.

Daar het fotogeleidende CdS elektrisch geen enkel contact heeft met de gloeidraad van het lampje, kan de juist genoemde afstandsbediening ook toepassing vinden in apparaten waarin de CdS-weerstand op hoge spanning staat of kan staan; indien men het lampje voedt met een aparte transformator(wikkeling), kan de voedingsschakeling op aardpotentiaal blijven.

Natuurlijk is de bediening op afstand door middel van een CdS-fotoweerstand ook geschikt voor velerlei andere toepassingen. We noemen hier slechts het instellen van helderheid en contrast bij televisieapparaten en de sterkteregeling bij stereofonische geluidsweergave.

Als derde toepassing bespreken we een eenvoudige schakeling met CdS-weerstand waarmee men een gestabiliseerde wisselspanning kan verkrijgen. In deze schakeling (*fig. 17*) voedt de secundaire van een transformator tegelijkertijd een potentiometerschakeling waarin een CdS-weerstand is opgenomen, en een lampje dat deze weerstand verlicht. Indien door toenemen van de ingangsspanning de secundaire spanning van de transformator stijgt, zendt het lampje meer licht uit, daalt dus de weerstand van




| $V_i$ | $V_o$ |
|---|---|
| 260V | 2,51V |
| 220V | 2,50V |
| 170V | 2,51V |
| 130V | 2,51V |
| 120V | 2,49V |
| 80V | 2,15V |

Fig. 17. Schakeling met fotoweerstand voor het stabiliseren van een wisselspanning. In een groot gebied varieert de uitgangsspanning ($V_o$) nagenoeg niet met de ingangsspanning ($V_i$)

de CdS-weerstand en daalt de fractie van de secundaire transformatorspanning die als uitgangsspanning fungeert. Bij een juiste dimensionering van het geheel kan laatstgenoemde daling het stijgen van

[10]) Zie voor het gebruik van de diode als detector en de daarmee gecombineerde sterkteregeling b.v. M. Mandl, Handbook of basic circuits, Macmillan, New York 1956, A3 en A5, of F. E. Terman, Radio Engineers Handbook, McGraw-Hill, New York 1943, blz. 641.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



de secundaire spanning juist compenseren en is in een groot gebied de uitgangsspanning onafhankelijk van de ingangsspanning. Men kan echter geen stroom afnemen.

Ten slotte noemen we in het kort enige andere toepassingsmogelijkheden, waarvan enkele weliswaar niet nieuw zijn, maar door gebruik van een CdS-fotoweerstand met een eenvoudiger schakeling gerealiseerd kunnen worden dan tot nu toe mogelijk was. Doordat de weerstanden hun maximale gevoeligheid vertonen in het rood, en ook in het infrarood tot 0,9 μ gevoelig zijn, zijn ze bijzonder goed geschikt voor toepassing in brandmeldingssystemen. Ook kunnen ze worden toegepast voor de detectie van rook, het automatisch in- en uitschakelen van straatverlichting, het automatisch dimmen van autokoplampen — de fotoweerstand heeft slechts een lage spanning nodig en behoeft dus geen voedigsapparatuur die in een auto niet reeds aanwezig is —, het automatisch aanpassen van het contrast en de helderheid van een televisiebeeld aan de kamerverlichting — hier is de evenredigheid tussen stroom en verlichtingssterkte belangrijk — enzovoort. Hierbij zij nog opgemerkt dat men bij toepassingen waar het erom gaat iets in of uit te schakelen, niet in alle gevallen een relais door de fotoweerstand behoeft te laten commanderen, maar soms ook de weerstand zelf als schakelaar kan gebruiken.

Resumerend kan worden gezegd dat CdS-fotoweerstanden door hun grote gevoeligheid, lage voedingsspanning, grote belastbaarheid en ongevoeligheid voor temperatuurvariaties reeds op vele gebieden toepassing vinden en op vele andere nog zullen kunnen vinden.

**Samenvatting.** Fotoweerstanden van cadmiumsulfide met een grote fotogevoeligheid kan men thans op industriële schaal maken. Men gaat uit van zeer zuiver CdS-poeder (korrelgrootte 0,1 μ), voegt daaraan zekere koper- en galliumhoudende stoffen toe en laat het mengsel een warmtebehandeling ondergaan. Men verkrijgt dan een grover poeder (10-100 μ), in welks korrels de toevoegsels homogeen verdeeld zijn, en perst daarvan plaatjes met de gewenste vorm. Een tweede warmtebehandeling doet door het persen ontstane roosterstoringen (die de fotogevoeligheid verminderen) verdwijnen en de korrels aaneensinteren. De, slechts zwak van de temperatuur afhangende, gevoeligheid (A/lux) van fotoweerstanden van dit materiaal benadert die van de fotomultiplicatorbuis en overtreft andere verre. Men kan ze direct opnemen in de voedingsketen van een relais. Vele toepassingen zijn denkbaar, verscheidene reeds gerealiseerd (vlambeveiliging; kraakvrije potentiometer, evtl. met afstandsbediening).

# DE EC 59, EEN ZENDTRIODE MET 10 W VERMOGEN BIJ 4000 MHz

door V. V. SCHWAB *) en J. G. van WIJNGAARDEN. 621.385.3.029.64

*Triodes zijn van nature bruikbaar in een betrekkelijk groot frequentiegebied. Voorts kunnen zij met lage voedingsspanningen werken, en er behoeft bij hen geen elektronenbundel gefocusseerd te worden. Deze voordelen ten opzichte van andere ultrakortegolfbuizen, zoals klystrons en lopendegolfbuizen, hebben ertoe geleid dat van verschillende zijden getracht wordt triodes voor steeds hogere frequenties te ontwikkelen. Het ontwikkelingswerk in de Philipslaboratoria heeft geleid tot een triode die zeer geschikt is om b.v. als zendbuis in straalzenders voor het relayeren van telefonie- en televisie-uitzendingen op 7,5 cm-golven te worden gebruikt en die hierbij dank zij een groot zendvermogen ook bij sterke storingen een goede verbinding mogelijk maakt.*

## Inleiding

De zendtriode EC 59 is een der jongste vruchten van de ontwikkeling van microgolftriodes in de laboratoria van het Philipsconcern. Na de realisering van de schijftriodes EC 56 en 57 [1]), die voor gebruik bij 4000 MHz bestemd zijn, werd de behoefte gevoeld een buis te maken die, eveneens bij een frequentie van 4000 MHz, een vermogen van 10 tot 20 watt zou kunnen geven bij een redelijke versterking en een bandbreedte van 100 MHz. Bij het relayeren van televisieprogramma's kan het gebeuren dat het tot nu toe beschikbare vermogen van 1,5 watt, zoals geleverd door de EC 57, onder ongunstige omstandigheden (storingen, sluiering) niet groot genoeg is om het signaal aan de ontvangzijde nog voldoende ver boven de ruis te doen uitkomen. Met het oog op zulke ongunstige toestanden is een zekere overmaat aan zendvermogen gewenst.

*) Ontwikkellaboratorium van de Valvo G.m.b.H. Radioröhrenfabrik, Hamburg.

[1]) G. Diemer, K. Rodenhuis en J. G. van Wijngaarden, De EC 57, een schijftriode voor microgolven met L-katode, Philips techn. T. **18**, 321-328, 1956.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



Het is inderdaad gelukt een triode te construeren die aan de genoemde eisen voldoet. In dit artikel zal een beschrijving van deze buis, de EC 59, gegeven worden; in een volgend artikel zal op de bijzonderheden van de hiermee geconstrueerde versterker ingegaan worden.

**Theoretische opmerkingen**

In principe lijkt de EC 59 in vele opzichten op de reeds eerder in dit tijdschrift besproken EC 57. Beide buizen zijn schijftriodes („disc-seal"-triodes), die door de planparallelle en rotatiesymmetrische bouw van de elektrodes en hun doorvoeren gekarakteriseerd zijn.

In een triode wordt de tijd $\tau_{kg}$ die een elektron nodig heeft om het rooster te bereiken, bepaald door de doorlopen afstand $d_{kg}$ en de in het roostervlak heersende gemiddelde potentiaal $V_0$:

$$\tau_{kg} = \frac{3 d_{kg}}{\sqrt{2 \frac{e}{m} V_0}} \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Hierin zijn $e$ en $m$ resp. lading en massa van een elektron. Om een goede werking van de buis te verzekeren, dient deze looptijd klein te zijn ten opzichte van de trillingstijd $T$ van het te versterken signaal.

Uit formule (1) zou men de conclusie kunnen trekken dat men door opvoeren van de spanning $V_0$ de looptijd willekeurig kan bekorten. De stroomdichtheid $j$ die de katode moet kunnen leveren, wordt echter volgens de wet van Child [2]) eveneens door $V_0$ en $d_{kg}$ bepaald:

$$j = \frac{4}{9} \varepsilon_0 \sqrt{2 \frac{e}{m}} \frac{V_0^{\frac{3}{2}}}{d_{kg}^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

($\varepsilon_0$ = diëlektrische constante van het vacuüm). Onbeperkt opvoeren van $V_0$ zou tot gevolg hebben dat de katode verzadigd raakt, waardoor de buis niet meer te sturen zou zijn. Een beter inzicht in de mogelijkheden die ten dienste staan om $\tau_{kg}$ te verminderen, krijgt men door uit de beide vergelijkingen $V_0$ te elimineren. Men vindt dan, als $d_{kg}$ in cm en $j$ in ampère/cm² wordt uitgedrukt:

$$\tau_{kg} = 6{,}7 \times 10^{-10} \left(\frac{d_{kg}}{j}\right)^{\frac{1}{3}} \text{sec.}$$

Bij 4000 MHz, waarbij $T = 2{,}5 \times 10^{-10}$ sec, wordt dus de relatieve looptijd:

$$\frac{\tau_{kg}}{T} = 2{,}68 \left(\frac{d_{kg}}{j}\right)^{\frac{1}{3}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

We zien dat we de relatieve looptijd klein kunnen houden door verkleinen van de afstand $d_{kg}$ en ook door vergroten van de stroomdichtheid $j$. Uitgaande van een bepaald geval, kan men dus bij grotere rooster-katodeafstand toch dezelfde looptijd handhaven door de stroomdichtheid op te voeren.

**De katode**

Omdat een grote stroomdichtheid gunstig blijkt te zijn, is in de EC 59, evenals in de EC 57, een L-katode gebruikt. Deze is in staat de volle verzadigingsstroom, ongeveer 5 A/cm², continu te leveren, terwijl men met de oxydekatode in dit soort buizen slechts tot 300 mA/cm² kan gaan, d.i. enkele % van de verzadigingsstroom van deze katode. Doordat bij de L-katode de katodestroom niet veel kleiner dan de verzadigingsstroom behoeft te zijn, wordt bovendien het potentiaalminimum ondiep en het komt dichtbij de katode te liggen (zie het onder [1]) aangehaalde artikel). Hierdoor vermindert het verlies dat ontstaat door die elektronen die het potentiaalminimum niet kunnen overschrijden en met opneming van energie uit het hoogfrequente elektromagnetische veld op de katode terugvallen („total emission damping"). Verder heeft de L-katode het voordeel dat hij beter bestand is tegen het nog te bespreken verschijnsel van terugbombardement (zie het gedeelte in kleine letters op blz. 299). Ook is het emitterende oppervlak metalliek; men kan dit dus goed vlak maken, en het wordt niet gevormd door een laag met een tamelijk grote weerstand zoals bij de oxydekatode.

**Richtlijnen voor de rooster-anoderuimte**

Voor een zendbuis is in eerste instantie het produkt van afgegeven vermogen $P$ en bandbreedte $B$ van belang. Het wordt gegeven door de formule [3]):

$$P \times B = \alpha j^2 d_{ga} \frac{C_{ga}}{C_{ga} + C_{par}} a^2 . \quad . \quad (4)$$

Hierin is $d_{ga}$ de afstand tussen rooster en anode, $a$ de straal van de katode (die we gelijk willen onderstellen aan die van de anode), $C_{ga}$ de capaciteit tussen rooster en anode in de buis, en $C_{par}$ de overige, parasitaire, capaciteit die parallel met $C_{ga}$ staat; $\alpha$ is een faktor die de looptijdeffecten, de terugkoppeling en de diëlektrische verliezen in het glas verdisconteert, doch die voor deze beschouwing niet ter zake doet.

Het produkt van vermogensversterking $G$ en bandbreedte $B$, waarvan in het aangehaalde artikel [1]) reeds sprake was, wordt hier nog eens in iets

[2]) C. D. Child, Phys. Rev. **32**, 492, 1911.

[3]) J. G. van Wijngaarden, Onde électrique **36**, 888, 1956.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



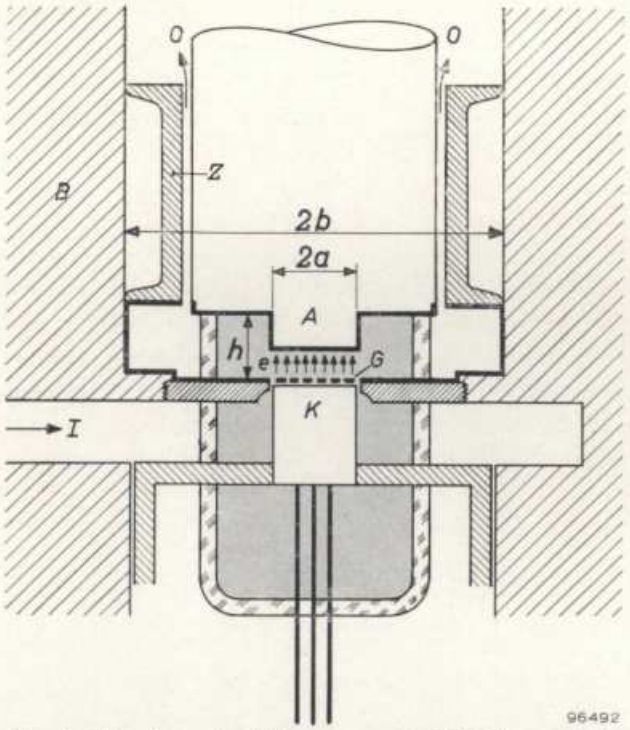



Fig. 1. De uitgangstrilholte van een schijftriode, geplaatst in een versterker. De trilholte is met dikke lijnen aangegeven, de gehele figuur is sterk geschematiseerd. *A* anode, *G* rooster, *K* katode, *Z* afstemzuiger, die beweegbaar is in het metalen blok *B*. Het glazen omhulsel van de triode verdeelt de trilholte in twee delen, waarvan het binnenste luchtledig is (het vacuüm van de buis is met een lichte grijze tint aangeduid). De pijl *I* duidt de binnenkomende hoogfrequente energie aan, in een golfgeleider waarvan de (zeer kleine) katode-roosterruimte deel uitmaakt. De reeks kleine pijltjes *e* stellen de overstekende elektronen voor; in hoofdzaak op deze plaats is het elektrische wisselveld van de trilholte geconcentreerd. De twee pijlen *O* duiden het uittreden van de hoogfrequente energie uit de ringvormige uitkoppelspleet aan.

gewijzigde vorm opgeschreven:

$$G \times B = \beta \sigma d_{ga} \frac{C_{ga}}{C_{ga} + C_{par}} . \quad . \quad . \quad (5)$$

Hierin is $\sigma$ de steilheid per cm² katodeoppervlakte (welke grootheid alleen van $d_{kg}$ en $j$ afhangt); $\beta$ heeft een soortgelijke betekenis als $\alpha$ in (4).

We zien dat in deze formules resp. de factoren

$$d_{ga}\, a^2 \frac{C_{ga}}{C_{ga} + C_{par}} \quad \text{en} \quad d_{ga} \frac{C_{ga}}{C_{ga} + C_{par}}$$

voorkomen, die beide van geometrische aard zijn. Omdat het hier om een zendbuis gaat, stelt men bij het ontwerp een zekere waarde van het produkt $P \times B$ als doel, zodat speciaal de eerste factor van groot belang is. Het blijkt dat daarom voor een zendbuis $a$ groter genomen moet worden dan voor een ontvangbuis.

Om te zien welke gevolgen een en ander heeft gehad voor de constructie van de EC 59, moeten we nagaan wat precies de betekenis van $C_{ga}$ en $C_{par}$ is. In het frequentiegebied waar de buis toegepast zal worden, wordt de uitgangskring gevormd door een trilholte met een plaatselijke vernauwing, waar het elektrische veld geconcentreerd is en waar de elektronen oversteken („re-entrant cavity"); zie *fig. 1*. De anode en het roostervlak vormen een deel van deze trilholte; dit is juist de essentie van de elektrodeconfiguratie van de schijftriode [4]). In eerste benadering kan men de genoemde trilholte elektrisch voorstellen door een capaciteit waarmee een zelfinductie parallel is geschakeld. De capaciteit wordt deels gevormd door de capaciteit tussen de beide elektrodes (rooster en anode), $C_{ga}$, deels door de capaciteit bijgedragen door de sprong bij de rand van deze elektrodes, en door de capaciteit van de op een grote afstand van elkaar gelegen eindvlakken. De beide laatste vormen tezamen $C_{par}$. De capaciteiten $C_{ga}$ en $C_{par}$ hangen op ingewikkelde wijze af van de in de figuur aangegeven afmetingen. Men zal deze afmetingen zo kiezen dat de gewenste waarde van het produkt $P \times B$ gerealiseerd wordt, waarbij men echter op de volgende punten moet letten:

1) de trilholte moet afstembaar zijn op de gewenste frequentie;
2) de afstand $d_{ga}$ mag niet te groot worden; anders wordt de anodespanning, nodig voor de stroominstelling, te hoog, wat verlaging van het rendement kan betekenen;
3) de in fig. 1 aangegeven hoogte $h$ van de ruimte tussen anode en roosterschijf mag om technologische redenen niet ad libitum verkleind worden;
4) het produkt $G \times B$ moet een redelijke waarde krijgen.

Een verdere belangrijke factor die de mogelijkheden bij hoge frequentie beperkt, is de toelaatbare dissipatie van rooster en anode. Hoe hoger de frequentie $f$ waarop men een trilholte wil laten resoneren, des te kleiner de afmetingen, en wel zijn deze voor gelijkvormige trilholten omgekeerd evenredig met de frequentie. De oppervlakte van de anode zal dus omgekeerd evenredig met $f^2$ moeten zijn. Vergelijkt men buizen met hetzelfde vermogen voor verschillende frequenties, dan kan men van „gelijkwaardigheid" spreken indien de relatieve bandbreedte dezelfde is. De vereiste waarde van het produkt $P \times B$ voor gelijkwaardige buizen is dus evenredig met de frequentie. In verband met het boven gezegde varieert in verg. (4) de factor

$$d_{ga}\, a^2 \frac{C_{ga}}{C_{ga} + C_{par}}$$

evenredig met $f^{-3}$, zodat $j^2$ met $f^4$ moet gaan, dus

[4]) Het zal wel duidelijk zijn dat de uitgangskring niet door de buis alléén gevormd wordt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



$j$ met $f^2$. Daar de anodeoppervlakte met $f^{-2}$ gaat, moet de totale stroom en dus ook de spanning gelijk blijven.

We zien dus dat bij „gelijkwaardige" buizen de specifieke anodedissipatie met het kwadraat van de frequentie toeneemt. Bij een goede keuze van de materialen van anode en rooster veroorzaken de dissipaties echter nog geen ernstige beperking van de mogelijkheden in het gebied rondom 4000 MHz. Bij de EC 59 bedraagt de specifieke anodedissipatie 780 W/cm², de totale 125 W. De ontwikkelde warmte wordt door middel van een waterkoelsysteem afgevoerd.

Een ander punt van overweging is nog dat het glas van de buiswand, doordat het zich in de trilholte in het hoogfrequente veld bevindt, door de diëlektrische verliezen zo warm zou kunnen worden dat het het verwekingspunt bereikt. Dit moet natuurlijk voorkomen worden. Een berekening voor een trilholte met $h = 4$ mm toont aan dat een opgewekt vermogen van $P = 1500/f$ toegestaan kan worden voor glassoorten waarvoor $\varepsilon_r \operatorname{tg}\delta \approx 3\times10^{-3}$ ($P$ in watts, $f$ in GHz). Bij 4000 MHz betekent dit een maximaal toelaatbaar hoogfrequentievermogen van 400 W. We zien dus dat de verwarming van het glas voor de te ontwerpen buis nog geen enkele beperking oplevert.

**Het ontwerp**

Bij de dimensionering moest om te beginnen de gewenste stroomdichtheid van de katode bepaald worden. Voor de L-katode bleek het mogelijk de stroomdichtheid $j$ op 1,5 A/cm² te stellen (de werkstroom moet natuurlijk kleiner zijn dan de verzadigingsstroom), waarbij gewerkt kon worden met een normale katodetemperatuur, wat belangrijk is voor de levensduur van de buis. Bij een katode-roosterafstand $d_{kg} = 0{,}06$ mm is dan volgens formule (1): $\tau_{kg} = 1{,}07\times10^{-10}$ sec, hetgeen bij 4000 MHz ongeveer overeenkomt met $\tau_{kg}/T = 0{,}4$ periode bij 4000 MHz. Nemen we een katode met een diameter $2a = 4{,}5$ mm, dan vinden we met behulp van formule (4), indien we als streefwaarde voor $P\times B$ nemen $2\times10^9$ watt Hz:

$$a\, d_{ga}\, \frac{C_{ga}}{C_{ga} + C_{par}} = 1{,}75\times10^{10}\ \text{cm}^2/\text{F}.$$

Voor de waarde van $C_{ga}/(C_{ga} + C_{par})$ is nu 0,3 genomen, hetgeen groter is dan bij de EC 57, door de grotere $a$. De waarde van $C_{ga}/(C_{ga} + C_{par})$ legt de rooster-anodeafstand, $d_{ga}$, vast op 0,3 mm. De overige afmetingen van de trilholte (fig. 1) worden dan $h = 5{,}5$ mm en $b = 13$ mm. Bij deze maten is de resonantiefrequentie hoger dan geëist wordt; door vergroting van de trilholte met een zuiger kan het geheel op de juiste frequentie afgestemd worden.

Bij een rooster-katodeafstand van 0,06 mm en een anodestroomdichtheid van 1,5 A/cm² zal de gemiddelde potentiaal in het roostervlak volgens verg. (2) ongeveer 7 volt moeten bedragen. Kiest men vervolgens de anodespanning (500 V) en de roosterspanning (−5 V), dan volgt hieruit de waarde die de versterkingsfactor moet krijgen. Daar $d_{ga}$ reeds vastligt, heeft men voor de realisering van de gewenste versterkingsfactor nog de beschikking over de roosterdraaddiameter en de wikkelspoed. Hierbij dient men echter rekening te houden met

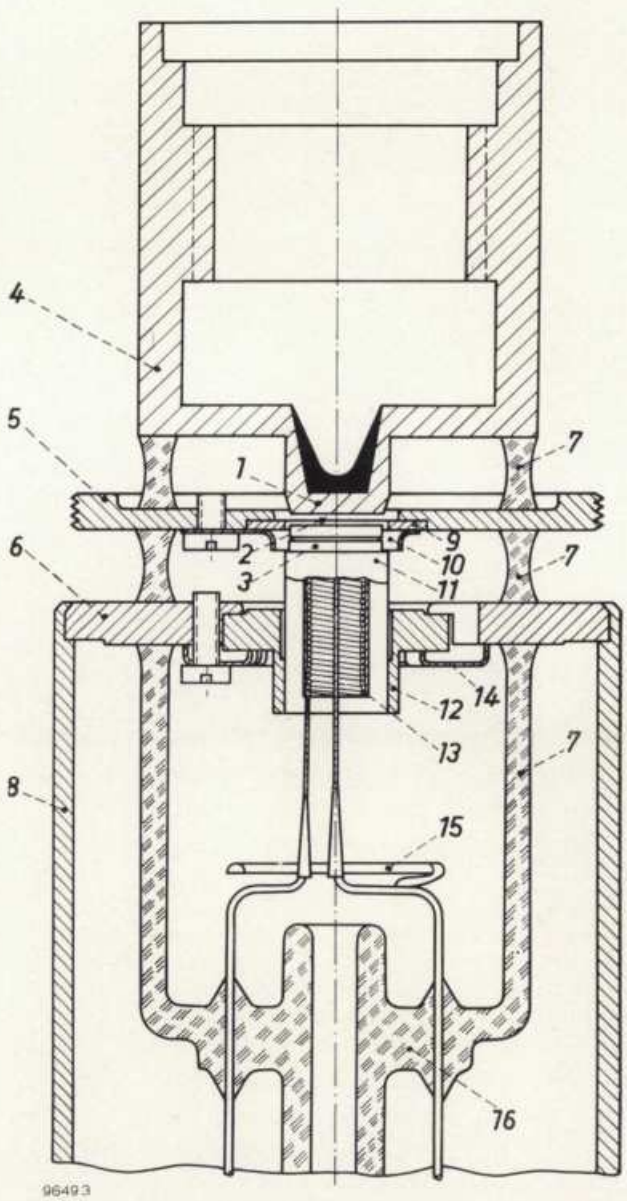



Fig. 2. Doorsnede van de schijftriode EC 59.
*1* anode, *2* rooster, *3* L-katode, *4* Mo-anodebus, *5* roosterschijf, *6* katodeschijf, *7* drie glazen ringen, *8* katodebus, *9* roosterfreem, *10* afschermring, *11* Ta-busje, *12* katodedrager, *13* gloeidraad, *14* veerring, *15* getter, *16* voet van sinterglas.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



het feit dat op de katode sterke „Inselbildung" zal optreden indien de spoed veel groter is dan de rooster-katodeafstand [5]). Het bleek nuttig te zijn in verband met de roosterdissipatie, die bij een groot stuursignaal optreedt, de diameter van de roosterdraad niet al te klein te nemen. Gekozen werd 30 μ, de spoed moet dan 130 μ worden om de gewenste versterkingsfactor te krijgen [6]).

In *fig. 2* is de aldus ontworpen buis in doorsnede getekend. In de onderstaande tabel zijn de belangrijkste afmetingen en grootheden voor de EC 59 vergeleken met die voor de EC 57.

| | EC 57 | EC 59 |
|---|---|---|
| katodediameter $2a$ . . | 3 mm | 4,5 mm |
| diameter roosterdraad | 7,5 μ | 30 μ |
| wikkelspoed van rooster . . . . . | 48 μ | 130 μ |
| $d_{kg}$ . . . . . | 40 μ | 60 μ |
| $d_{ga}$ . . . . . | 240 μ | 300 μ |
| $j$ . . . . . | 0,84 A/cm² | 1,5 A/cm² |
| $P \times B$ . . . . . | 150 WMHz | 1000 WMHz |
| $G \times B$ . . . . . | 1600 MHz | 1000 MHz |

We zien dat bij de EC 59 het produkt $P \times B$ ca. 7× zo groot is als bij de EC 57. Het produkt $G \times B$ is gedaald tot ca. 60%, maar bij de geëiste bandbreedte van 100 MHz versterkt de buis toch nog 10× (10 dB).

Bij de besproken ontwerpmethode is uitgegaan van een formule voor het produkt $P \times B$ die afgeleid is uit de voor lage frequenties geldende theorie (die overigens reeds lang bekend is [7])). Voorts is bij de bepaling van de katode-roosterafstand gebruik gemaakt van de resultaten der looptijdtheorie bij kleine signalen. Bij grote stuursignalen geven de looptijden aanleiding tot de volgende extra-effecten.

a) In de rooster-katoderuimte treedt het zg. terugbombardement van elektronen op, waardoor een deel van de emissie verloren gaat. Ten gevolge van de eindige looptijd bereiken namelijk de na een bepaalde tijdhoek $\omega t_1$ in de periode geëmitteerde elektronen niet meer het rooster, doordat de effectieve potentiaal in het roostervlak van teken is omgekeerd toen de elektronen nog onderweg waren ( zie *fig. 3*). Deze elektronen treden dus niet door het rooster en dragen niet bij tot energie-afgifte in de rooster-anoderuimte, terwijl zij wèl energie uit het stuursignaal opnemen; in het algemeen zullen zij met een snelheid groter dan nul op de katode terugvallen. Bij hoge negatieve voorspanning kan het verschijnsel ontoelaatbare afmetingen aannemen. De beste instelling blijkt in de buurt van klasse B te liggen; deze geeft een gunstig compromis tussen versterking en rendement. (Men verwarre dit terugbombardement overigens niet met het boven reeds genoemde verschijnsel der terugkerende elektronen, dat veroorzaakt wordt door het potentiaalminimum voor de katode.)

b) De elektronen zullen in een bepaald deel van de periode het rooster passeren. De eerste elektronen doen dit met een grotere snelheid dan de laatste. Hierdoor is hun aankomst op de anode over een groter deel van de periode uitgesmeerd dan bij het rooster, waardoor een verlaging van het rendement optreedt.

c) De versterking neemt snel af bij toenemend ingaand vermogen. Behalve door de twee bovengenoemde verschijnselen, die bij hoge frequenties optreden, wordt dit mede veroorzaakt door het ook bij lage frequentie optredende verschijnsel dat het rooster gedurende zijn positieve periode een deel van de elektronen wegvangt. Deze kunnen dan dus ook in de rooster-anoderuimte niet tot de energie-afgifte bijdragen; het is echter niet zo dat deze roosterstroom meer stuurvermogen vereist. Bij de schakeling met geaard rooster maakt het voor het stuurvermogen niets uit of er wel of geen roosterstroom loopt, doordat de katode-roosterstroomketen en de rooster-anodestroomketen van elkaar gescheiden zijn [8]).

De mathematische behandeling van deze effecten stuit op grote moeilijkheden, zodat het nog niet mogelijk is, er bij een ontwerp systematisch rekening mee te houden.

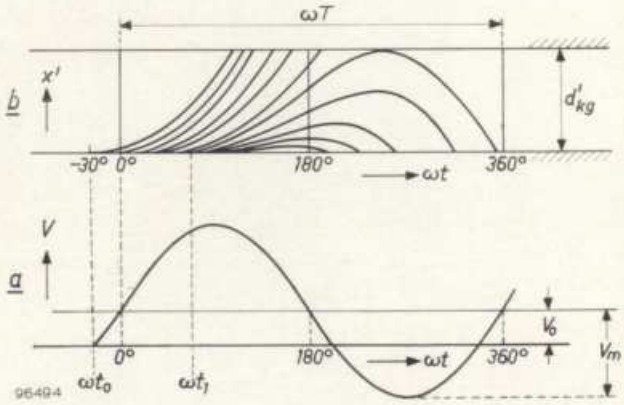



Fig. 3. *a*) Verloop van de spanning $V$ tussen rooster en katode (amplitude $V_m$, instelspanning $V_0$), als functie van de tijdhoek $\omega t$.
*b*) Plaats $x'$, tussen katode en rooster, van een reeks elektronen die op verschillende tijdstippen binnen de duur $T = 2\pi/\omega$ van een periode uit de katode zijn vertrokken, als functie van $\omega t$. De looptijd $\tau_{kg}$ van katode tot rooster is niet klein ten opzichte van $T$. In elke periode wordt de starttijd $t_0$ van het eerste elektron bepaald door $V = V_0 + V_m \sin \omega t_0 = 0$, dus:

$$\omega t_0 = -\arcsin (V_0/V_m).$$

We hebben hier AB-instelling (zie b.v. F. E. Terman, Electronic and radio engineering, McGraw-Hill, New York 1955, blz. 255). De coördinaat $x'$ is een gereduceerde afstand, zodat de figuur voor willekeurige $d_{kg}$, $V_0$ en $\omega$ geldt.

## Technologische problemen

De vorm van de buis (*fig. 4*) is grotendeels bepaald door de voorwaarden opgelegd aan de anodekring. De anode-roosterruimte is, zoals reeds werd

[5]) „Inselbildung" is het verschijnsel dat de veldsterkte op de katode niet overal even groot is, waardoor niet alle delen van het katodeoppervlak dezelfde emissiestroomdichtheid leveren; recht tegenover de roosterdraden kan de veldsterkte zelfs van richting omkeren. Door het verschijnsel wordt de actieve oppervlakte van de katode verkleind.
[6]) P. H. J. A. Kleijnen, Philips Res. Repts. **1**, 81, 1946.
[7]) Zie b.v. J. P. Heyboer, Zendbuizen, Philips Techn. Bibliotheek, 1946.
[8]) Zie b.v. W. Kleen, Einführung in die Mikrowellen-Elektronik, I. Grundlagen, Hirzel, Stuttgart 1952.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



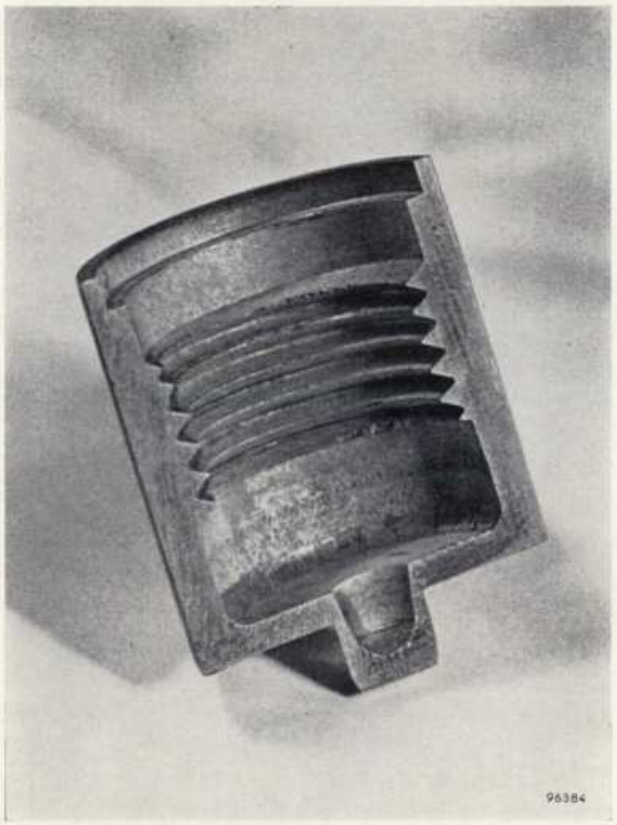
gezegd, een deel van de uitgangstrilholte van de versterker waarin de buis wordt opgenomen. Het elektrodesysteem is planparallel en rotatiesymmetrisch. De anode zelf is op de foto duidelijk te zien, als een kleine verhoging op een grotere bus. In de versterker wordt de trilholte verder begrensd door de cilindrische zijwanden van het blok waarin de buis is geschroefd, door de roosterschijf, en aan de bovenkant door een zuiger. Tussen de zuiger en de anodebus bevindt zich de uitkoppelspleet. De diameters van deze bus en van het glas tussen roosterschijf en anode moeten kleiner zijn dan de afmeting $2b$ van de trilholte (fig. 1). De diameter van de

Fig. 4. De schijftriode EC 59. Van boven naar beneden: anodebus, roosterschijf met schroefdraad, katodebus met pennen; ertussen het glas, waardoorheen men de eigenlijke elektrodes kan zien.

katodebus is weer groter dan die van de roosterschijf, maar deze moet klein genoeg blijven om trillingswijzen van hogere orde in de hoogfrequente katodekortsluiting (de „choke" [9])) te voorkomen. Deze overwegingen bepalen de diameters van de anode- en katodebussen en van de roosterschijf (zie fig. 2 en 4).

De verliezen van de anodekring moeten zo klein mogelijk blijven. Slechts goed gepolijste en goed geleidende oppervlakken zijn bruikbaar. Ook moeten de schroefverbindingen tussen de buis en de ver-

*b*




*a*

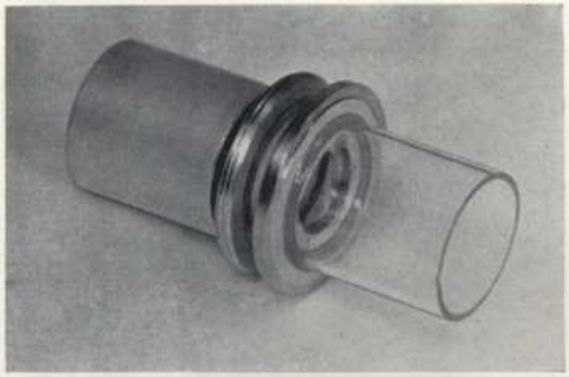
Fig. 5. *a*) Doorgezaagde anodebus van de EC 59; *b*) „anodepaal" die in de anodebus wordt geschroefd, met een koelsysteem (dit is dus eigenlijk al een onderdeel van de versterker).

[9]) Zie b.v. J. P. M. Gieles, Een bredebandversterker met schijftriode voor 4000 MHz, Philips techn. T. **19**, 149-161, 1957 (no. 5), speciaal blz. 150.

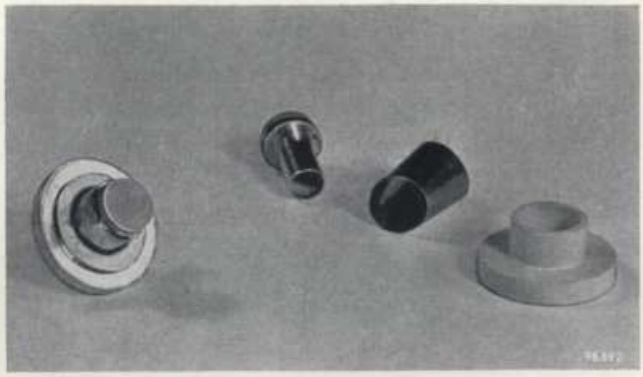
Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



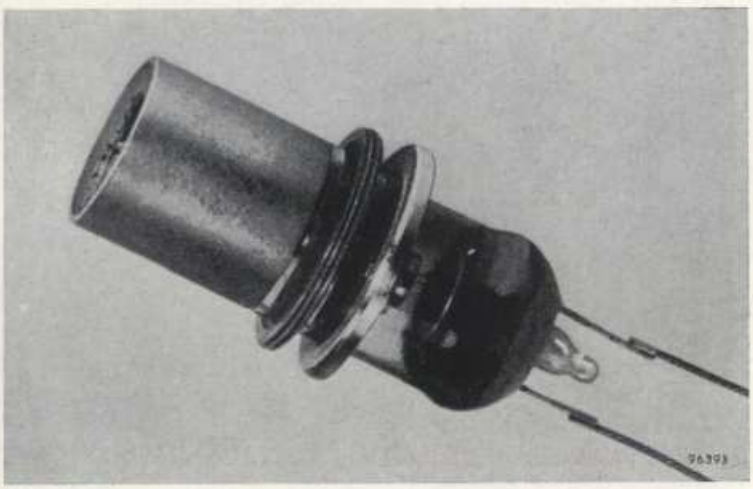


a



b

c



d

Fig. 6. Onderdelen van de EC 59, in verschillende stadia van fabricage.
*a*) Anodebus, roosterschijf en katodeschijf ingesmolten.
*b*) Van links naar rechts: gemonteerde katode, molybdeniumcilinder, tantaalfoelie en katodedrager.
*c*) Gloeidraad met voet van sinterglas en ringvormige getter.
*d*) Rooster en katode zijn gemonteerd, de sinterglazen voet met gloeidraad is ingesmolten, de buis is gepompt.

schillende onderdelen van de versterker mechanisch en elektrisch goed zijn. De anodebus is hol en van boven open (*fig. 5a*), zodat hij met water gekoeld kan worden. De wand van deze bus is aan de binnenzijde voorzien van schroefdraad. Hierdoor kan op de bus de binnengeleider van een coaxiaal systeem („anodepaal") geschroefd worden, waarin de kanalen van een waterkoelsysteem moeten worden aangebracht (zie b.v. fig. 5*b*). Door de gebezigde anodeconstructie is men overigens vrij in het ontwerp van dit systeem.

**Samenstelling van de buis**

In verband met de eis van een goed warmtegeleidingsvermogen is de anode gemaakt van molybdenium, dat naderhand verguld wordt. De roosteren de katodeschijf zijn van een ijzer-nikkel-kobaltlegering gemaakt („Vacon 12") en evenals de anode verguld. Het gebruikte glas tussen de elektrodes heeft bijzonder goede diëlektrische eigenschappen. Deze glasringen benevens een glascilinder onderaan de katodeschijf worden in een mal aan de tevoren geëmailleerde schijven gesmolten. Het zo ontstane omhulsel (*fig. 6a*) wordt aan de anodezijde op een precisiedraaibank ingespannen. De anode wordt vlakgedraaid en in de rooster- en de katodeschijf worden de zittingen gedraaid voor het rooster en de katodedrager. De afstanden tussen deze vlakken moeten zeer nauwkeurig ingesteld worden. Dit gebeurt met op de draaibank aangebrachte meetklokken (zie *fig. 7*). Aan de buitenzijde van de buis wordt in de roosterschijf de schroefdraad gesneden en de katodeschijf op maat gedraaid. Al deze bewerkingen gebeuren bij één zelfde inklemming in de draaibank, zodat alle vlakken evenwijdig en gecentreerd zijn. Het rooster wordt op de vroeger

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



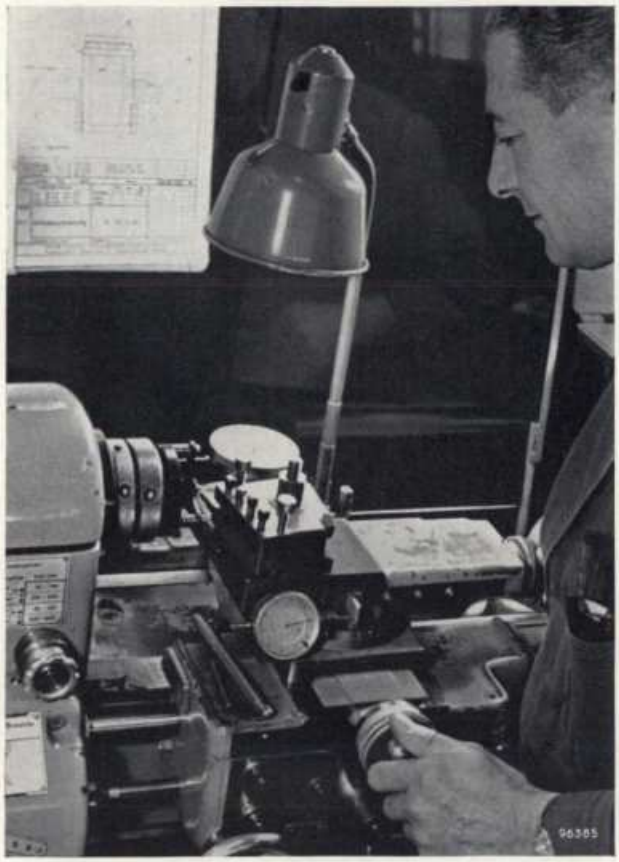


Fig. 7. Het draaien van de zitting in de katodedrager.

beschreven wijze gemaakt (zie het onder [1]) aangehaalde artikel).

De katode moet, zoals reeds gezegd, een L-katode zijn. Evenals bij de EC 57 wordt een vlak poreus wolfraamplaatje op een molybdeniumcilinder gelast, die door een wand loodrecht op de as in twee delen is gedeeld. In het bovenste, kleine, deel wordt een pil van barium-strontiumcarbonaat gebracht. In het onderste deel wordt de gloeidraad geplaatst. Een cilinder van tantaalfoelie (10 micron wanddikte), die het molybdeniumbuisje omsluit, wordt op de vergulde katodedrager van „Vacon" gelast. Fig. 6*b* toont de verschillende losse onderdelen en de geheel gemonteerde katode; deze laatste ziet men links. Men kan hier duidelijk het gedraaide vlak onderscheiden waarmee de katodedrager tegen de katodeschijf gedrukt wordt en waardoor de rooster-katodeafstand bepaald wordt. Men maakt dit vlak evenwijdig met de katode, door de katodedrager met katode via een cardankoppeling op een draaibank in te spannen. Met een zeer gevoelig meetklokje stelt men het geheel zo in dat het katodeoppervlak loodrecht op de draaiingsas staat. Daarna kan het aanslagvlak in de katodedrager zodanig afgedraaid worden dat de juiste afstand tot het katodeoppervlak wordt verkregen. De op deze wijze verkregen planparallelliteit is uitstekend en de afstand klopt zeer precies, wat bewezen wordt door de slechts kleine onderlinge verschillen in de statische karakteristieken van verschillende exemplaren van de buis.

Evenals het geval is bij de EC 57, wordt de EC 59 in een „stofvrije ruimte" gemonteerd. Nadat het omhulsel braamvrij gemaakt en gereinigd is, en de afstanden nog eens gecontroleerd zijn, wordt het rooster op de roosterschijf vastgeschroefd. Daarna wordt de katodedrager aangebracht en met een verende ring tegen de katodeschijf gedrukt. Een voet van gesinterd glas met gloeidraad en getter (fig. 6*c*) wordt in de glazen cilinder gebracht en aan het glas gesmolten. Daarna wordt de buis gepompt en afgesmolten. De buis ziet er dan uit als in fig. 6*d*. De katodecilinder wordt nu om de schijf gerold in een draaibank, om aan de kleine toleranties in de excentriciteiten te blijven voldoen.

De buis wordt vervolgens „ingebrand" en statisch en dynamisch doorgemeten.

In *fig. 8* ziet men twee buizen bij statische belasting, waarbij zij worden gekoeld met een gesloten

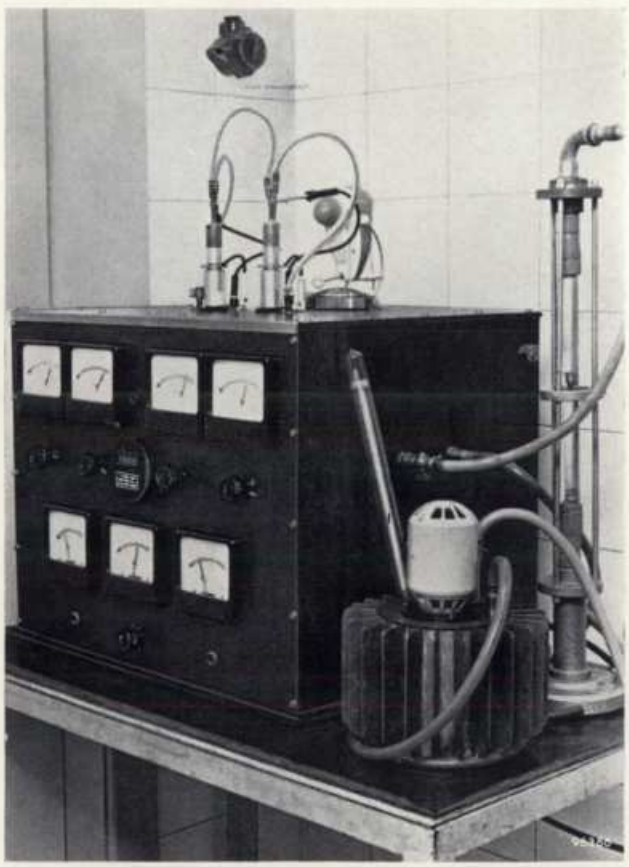


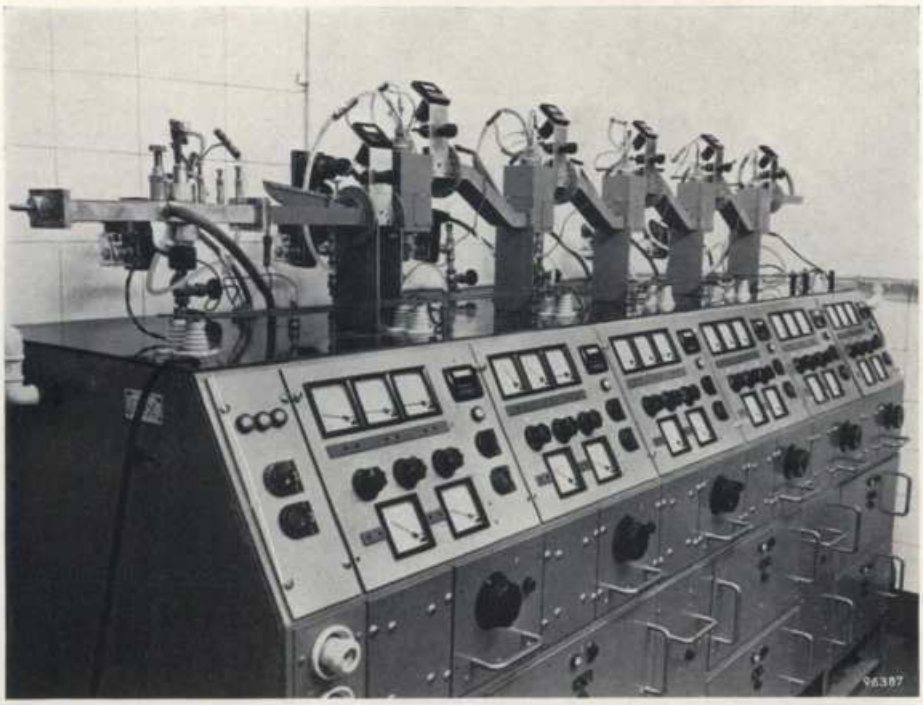
Fig. 8. Experimentele opstelling voor statische levensduurproeven, waarbij de buizen zijn voorzien van een gesloten waterkoelsysteem. Op de kast twee buizen EC 59. Rechts beneden ziet men het waterreservoir met koelribben, circulatiepompmotor en thermometer.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



c



b

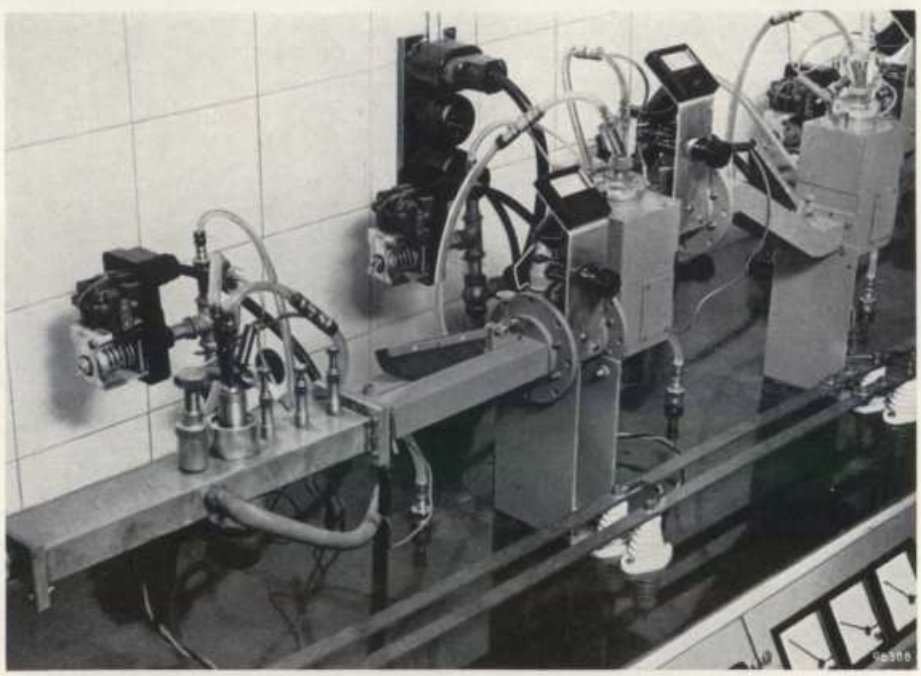


Fig. 9. *a*) Opstelling voor levensduurproeven bij dynamische belasting. Hier werken de buizen dag en nacht onder dezelfde omstandigheden als in het normale gebruik. Op de detailfoto (*b*) ziet men geheel links de oscillator, rechts daarvan de eerste twee versterktrappen, waarin de buizen.

watercircuit. Op de voorgrond staat het waterreservoir met radiator en pompmotortje. Het water in het reservoir heeft een temperatuur van ongeveer 50 °C. Het voordeel van dit systeem is dat het water niet geheel koud het koelsysteem binnenkomt, zodat geen hinderlijk condensatiewater op de anode kan ontstaan, hetgeen overslag zou kunnen veroorzaken. Bovendien is bij een hogere temperatuur de warmteovergangscoëfficiënt van water beter.

In *fig. 9a* en *b* ziet men de opstelling voor levensduurproeven bij dynamische belasting. Links staat de oscillator, het signaal treedt via een verzwakker en een overgangsstuk de versterker binnen. De buis bevindt zich geheel in het blok en is dus

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



niet te zien. Het uitgaande signaal gaat via een verzwakker de volgende versterker binnen. Zo zijn er een aantal versterkers achter elkaar geschakeld. Men kan aldus met behulp van één oscillator een reeks zendbuizen tegelijk beproeven. De verzwakkers zijn zo ingesteld dat elke versterker 10 watt uitgangsvermogen levert, dus een ingangsvermogen van ca. 1 watt toegevoerd krijgt.

Behalve de hier beschreven uitvoering, wordt in Hamburg een uitvoering van de buis ontwikkeld met een vacuümdichte isolatie van keramiek in plaats van glas; deze buis zal binnenkort in dit tijdschrift worden behandeld. Verder is het, door gebruik van een enigszins andere anodevorm, mogelijk gebleken de EC 59 met lucht in plaats van water te koelen. Bij een anodedissipatie van 115 watt houdt het luchtkoelsysteem de temperatuur van de anode op de plaats van de glasaanhechting op 120° boven kamertemperatuur. De benodigde hoeveelheid lucht is dan 75 l/min bij een druk van 47 cm waterkolom. Het zal van de plaatselijke omstandigheden afhangen aan welke koelmethode men de voorkeur zal geven.

**Samenvatting.** Bij het ontwerp van een zendtriode voor microgolven wordt uitgegaan van de eis dat de relatieve looptijd der elektronen in de katode-roosterruimte niet te groot mag zijn. Om tot zeer hoge frequenties te kunnen gaan, moet men daartoe een zeer kleine rooster-katodeafstand kiezen (enkele tientallen microns) en/of met een zeer grote stroomdichtheid van de katode werken. De L-katode heeft in deze opzichten een belangrijke stap voorwaarts mogelijk gemaakt. Is de stroomdichtheid gegeven, dan hangt het produkt van de bandbreedte en het vermogen dat de zendtriode kan leveren, in hoofdzaak van de geometrie van de buis af. Om dit produkt groot te houden, is een kleine rooster-anodecapaciteit van belang. Verder moet nog rekening gehouden worden met de specifieke anodedissipatie, die bij toenemende frequentie groter wordt. De schijftriode EC 59, die uit de vroeger beschreven schijftriode EC 57 is ontwikkeld, kan bij 4000 MHz een hoogfrequentievermogen van 10 W leveren, bij een bandbreedte van 100 MHz en een vermogensversterking van ongeveer 10 dB. De buis wordt met water (evtl. met lucht) gekoeld. De zeer kleine afstanden tussen de elektrodes worden bij de fabricage ingesteld door de anodebus en de rooster- en katodeschijven eerst in de glazen ringen in te smelten en er dan pas zittingen in te draaien, op zeer nauwkeurig op een draaibank in te stellen afstanden. In deze zittingen worden later de eigenlijke elektrodes geplaatst, die aldus precies gefixeerd zijn. Na de beschrijving van ontwerp en fabricage van de buis wordt in het artikel in het kort een koelsysteem en de wijze van levensduurbeproeving besproken.

**Rectificatie**

In het artikel „Het verkrijgen en meten van extreem lage drukken" (Philips techn. T. **20**, 1958, no. 4) leze men op blz. 108, rechterkolom, in fig. 10 en in de tekst 2 regels daaronder: „$x$" in plaats van „$x_1$"; op blz. 109 in de vormen tussen ( ) in de vergelijkingen (VI) en (VII): „$x_1$" in plaats van „$x$". Op blz. 108 voege men aan het rechterlid van vergelijking (III) „$dx$" toe. Op blz. 109 vervange men in de samenvatting in de 5e regel van onderen „centrale anode" door: „centrale collector".

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



# EEN APPARATUUR VOOR RÖNTGENCINEMATOGRAFIE MET EEN 28 cm-BEELDVERSTERKER

door J. J. C. HARDENBERG.

621.386.17:621.386.832.032.217.2:616-073.75

*De röntgenfoto heeft zijn belangrijke positie in de medische diagnostiek verworven door de rijke anatomische informatie die hij verschaft: informatie omtrent de toestand of ligging van weefsels en organen, met hun eventuele pathologische afwijkingen, binnen het menselijk lichaam. De röntgencinematografie, waarvoor de röntgenbeeldversterker de weg geëffend heeft, gaat een stap verder: zij geeft een document van het normale of afwijkende gedrag der organen tijdens het vervullen van hun functie. De fysiologische informatie die de medicus door bestuderen van opgenomen films kan verkrijgen, blijkt voor vele diagnostische problemen en voor instructieve doeleinden waardevol te zijn.*

*De apparatuur met een groot beeldveld, die hier wordt beschreven, maakt het mogelijk, ook grote organen, zoals hart, maag en longen, röntgencinematografisch te onderzoeken.*

*Tot de ontwikkeling van de apparatuur hebben een aantal medewerkers van verschillende afdelingen der Philipsfabrieken bijgedragen. Genoemd dienen te worden J. R. Boerman, J. H. J. Maartens en J. H. A. Moubis van de Hoofdindustriegroep Elektronenbuizen en P. J. M. Botden, J. Fransen en A. Verboon van de Hoofdindustriegroep Röntgen en medische apparaten.*

In het medisch röntgenonderzoek neemt de techniek van de gerichte foto een belangrijke plaats in. De bewegingen van het te onderzoeken orgaan, b.v. de maag, zichtbaar gemaakt met behulp van een aan de patiënt toegediend contrastmiddel, worden volgens deze techniek op een doorlichtingsscherm waargenomen, terwijl men op een bepaald moment, als men de beweging in een voor de diagnose belangrijke faze ziet komen, snel een foto „schiet".

Bij snelle bewegingen van het te onderzoeken object (slikbeweging van de slokdarm, kloppende vaatwanden, peristaltiek van de twaalfvingerige darm enz.) wordt het nodig een aantal momentopnamen in vlugge opeenvolging tot stand te brengen. Vasthoudend aan de methode van de directe röntgenopname, heeft men dit gerealiseerd door het mechanische kunststukje om ca. 10 maal per seconde de film te verwisselen. Eleganter is de oplossing die de schermbeeldfotografie (röntgencamerafotografie) aan de hand doet: hierbij worden verkleinde foto's van een doorlichtingsbeeld gemaakt, en de opeenvolgende foto's komen op een snel doorgetrokken filmrol van b.v. 70 mm breedte te staan [1]). Uit aldus opgenomen fotoseries kan men voor een diagnose behalve de anatomische informatie, die een enkele foto levert, ook fysiologische informatie verkrijgen, nl. door opmeten van geometrische veranderingen (met name verplaatsing van contrastmiddel) in opeenvolgende beelden, waaruit de beweging kan worden gereconstrueerd.

[1]) Zie b.v. W. Hondius Boldingh, Spiegelcamera's voor algemene röntgendiagnostiek, Philips techn. T. **16**, 51-57, 1954, speciaal blz. 55 e.v.

Het lijkt van hieruit nog maar een kleine stap naar de röntgencinematografie. Deze moet een filmstrook leveren, die te allen tijde door cinematografische projectie de beweging van het onderzochte object weer direct voor ogen kan stellen. Ten opzichte van de oorspronkelijke waarneming van het bewegende beeld op het doorlichtingsscherm heeft een cinematografische opname belangrijke voordelen: de arts krijgt gelegenheid een verschijnsel herhaald en rustig, op een gunstig helderheidsniveau en desgewenst gezamenlijk met collega's of leerlingen, te bestuderen; hij kan zijn, op fysiologische afwijkingen gebaseerde, diagnose met een document staven; en er bestaat de mogelijkheid, details van het verschijnsel door vertraagd afdraaien (of juister: door versneld opnemen) beter te volgen.

We zeiden: het lijkt nog maar een kleine stap. In werkelijkheid bood deze stap bijna onoverkomelijke bezwaren. Immers, voor het realiseren van de genoemde voordelen is het meestal gewenst, nog aanzienlijk meer dan 10 opnamen per seconde te maken, en men moet dit gedurende lange tijd, b.v. ½ minuut, volhouden. Aangezien men voor één röntgenfoto van organen als maag, hart, longen enz. volgens de gebruikelijke technieken reeds een vrij grote hoeveelheid röntgenstraling nodig heeft, leidde het opnemen van een film tot de accumulatie van een grote, moeilijk te verantwoorden, dosis straling op de patiënt; bovendien moest de röntgenbuis zeer zwaar worden belast. Voor een deel was de grote vereiste stralingsdosis daaraan toe te schrijven dat voor zulke films alleen de genoemde methode van de verkleinde beelden in aanmerking kwam, dus het fotograferen van een doorlichtingsscherm. De be-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



perkte openingshoek van de daarbij te gebruiken lichtbundels maakt de zaak, zelfs bij spiegelcamera's met zeer groot lichtvangend vermogen, nog ca. 5× ongunstiger dan bij een zelfde aantal directe opnamen.

Dat ondanks de genoemde bezwaren röntgenologen in verschillende landen reeds jarenlang proeven hebben gedaan met röntgencinematografie [2]), illustreert het belang dat aan de ontwikkeling van dit hulpmiddel werd gehecht. In de toepassing was men echter beperkt tot gevallen waarin het blootstellen van de patiënt aan een zeer grote stralingsdosis gezien kon worden als het kleinste van twee kwaden. Voor het verkrijgen van de nodige stralingsintensiteit uit de röntgenbuis legde men zich toe op vernuftige maar apparatief ingewikkelde kunstgrepen (o.a. het in snel tempo schakelen van de hoogspanning op de buis, om de warmteontwikkeling op de anode tot het strikt noodzakelijke te beperken).

Het is een der belangrijkste vruchten van de ontwikkeling der röntgenbeeldversterkers geweest dat men het probleem van de röntgencinematografie opnieuw en met groot succes heeft kunnen aanpakken. Het primaire doorlichtingsbeeld wordt door de beeldversterker getransformeerd in een beeld van vele malen grotere luminantie. Voor het fotograferen of filmen kan men derhalve met veel zwakkere primaire beelden volstaan en dus de röntgenintensiteit drastisch verminderen.

Deze mogelijkheid is in dit tijdschrift en elders reeds besproken in verband met de toepassing van de eerste door Philips ontwikkelde röntgenbeeldversterker [3]) [4]). Deze heeft een beeldveld van 12,5 cm diameter en levert een luminantieversterking van 1000× of nog meer. Voor röntgencinematografie met deze beeldversterker maakten wij aanvankelijk gebruik van een bij het doel aangepaste, in de handel verkrijgbare, 35 mm-filmcamera. Later is voor hetzelfde doel met 16 mm-camera's gewerkt [5]). Op het alternatief: 16 mm of 35 mm, komen we hieronder terug.

De genoemde apparatuur is voor vele onderzoekingen in de medische diagnostiek zeer waardevol gebleken. Als beperking echter werd van meet af aan het relatief kleine beeldveld gevoeld. Voor het opnemen van films van grote organen, zoals hart en longen, heeft men een groter veld nodig. Om aan deze behoefte tegemoet te komen, heeft Philips in de laatste jaren een apparatuur speciaal voor röntgencinematografie ontwikkeld waarin een nieuwe beeldversterker wordt gebruikt, met een beeldveld van *28 cm diameter*. Over de medische toepassing van deze apparatuur zijn reeds verscheidene mededelingen gepubliceerd [6]). We zullen in dit artikel de belangrijkste technische bijzonderheden van de apparatuur behandelen.

De nieuwe beeldversterker is, evenals de vroeger beschreven kleinere uitvoering, van het elektronische type; hij bestaat uit een geëvacueerde buis, waarin het röntgenfluorescentiebeeld in een elektronenbeeld wordt omgezet. Hoewel het in principe mogelijk is, versterkers van dit type voor nog grotere beeldvelden te maken, b.v. voor een veld van 30×40 cm, dat een gehele thorax beslaat en dat gebruikelijk is voor normale doorlichtingsschermen, zijn wij uit fabricatorische overwegingen en om niet tot al te grote buisafmetingen te komen, niet verder gegaan dan tot de genoemde diameter van 28 cm.

In dit verband ligt het voor de hand, aan een toepassing van de vastestof-beeldversterker te denken (het amplificon), die op het verschijnsel van de elektroluminescentie berust en waarvan de grondvormen ook reeds in dit tijdschrift zijn beschreven [7]). Aan de verdere ontwikkeling van dit hulpmiddel wordt op verscheidene plaatsen in de wereld gewerkt, doch het zal wellicht nog ettelijke jaren duren vóór men de voornaamste beperking van de vastestof-beeldversterker, de te grote traagheid, waardoor hij voor filmopnamen vooralsnog ongeschikt is, zal kunnen overwinnen.

## Overzicht van de apparatuur

We beginnen met een overzicht van de installatie, om daarna de keuze van de belangrijkste parameters te bespreken en de constructie van de hoofdonderdelen te beschrijven.

De apparatuur omvat in de eerste plaats de genoemde 28 cm-beeldversterker en een lichtsterke filmcamera met een spiegeloptiek volgens Schmidt. Beeldversterker en spiegelcamera zijn bij elkaar aangepast en samen in een cilindrisch huis onder-

[2]) Over de historie van de röntgencinematografie, zie vooral de voordrachten van F. Dessauer, R. Janker, R. Reynolds en H. van de Maele, gehouden op het röntgencongres te Wenen, september 1936 (Fortschr. Geb. Röntgenstr. **56**, 126-142, 1937). In de eerstgenoemde voordracht is o.a. naar voren gebracht het werk van P. H. Eijckman, de Nederlandse pionier op het gebied van de röntgencinematografie, die reeds in 1903 zg. synthetische en in de jaren 1908-1915 in samenwerking met anderen echte röntgenfilms maakte. Zie verder b.v.:
R. Janker, Roentgen cinematography, Amer. J. Roentgenology **36**, 384-390, 1936.
G. H. Ramsey, J. S. Watson, J. B. Steinhausen, J. J. Thompson, F. Dreisinger en S. Weinberg, Cinefluorography: a progress report on technical problems, dosage factors and clinical impressions, Radiology **52**, 684-690, 1949.
R. Janker, Apparatur und Technik der Röntgenkinematographie zur Darstellung der Herzbinnenräume und der grossen Gefässe (Angiokardio-Kinematographie), Fortschr. Geb. Röntgenstr. **72**, 513-520, 1950.

[3]) M. C. Teves en T. Tol, Elektronische versterking van röntgenbeelden, Philips techn. T. **14**, 65-75, 1952.

[4]) J. Feddema, Medische beschouwingen betreffende de beeldversterker, Philips techn. T. **17**, 85-89, 1955.

[5]) Zie b.v. L. B. Lusted en E. R. Miller, Progress in indirect cineroentgenography, Amer. J. Roentgenology **75**, 56-62, 1956.
G. M. Ardran en D. G. Wyatt, A portable X-ray cinecamera, Brit. J. Radiol. **30**, 52-54, 1957 (no. 1).

[6]) R. Janker, Medicamundi **2**, 38, 1956 (no. 2) en Röntgen-Blätter **10**, 289, 1957.
G. J. van der Plaats, Fortschr. Geb. Röntgenstr. **86**, 1957, Beiheft, blz. 54.

[7]) G. Diemer, H. A. Klasens en P. Zalm, Elektroluminescentie en beeldversterking, Philips techn. T. **18**, 357-367, 1956 (no. 12).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



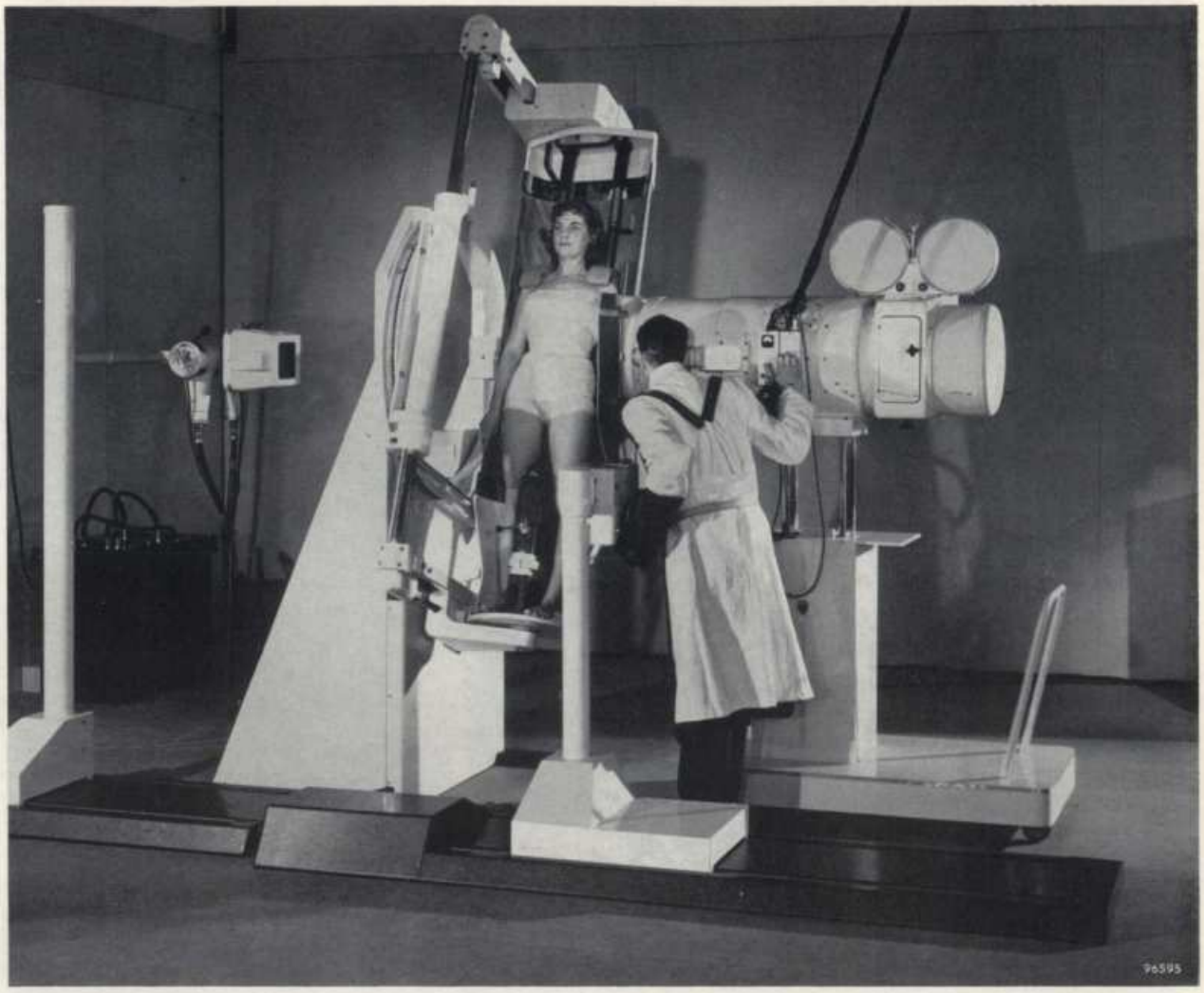


Fig. 1. De cine-apparatuur met 28 cm-beeldversterker. De patiënt is hier geplaatst in een universeel statief „Müller" UGX.

gebracht. Men ziet dit in de overzichtsfoto *fig. 1* rechts op een statief gemonteerd. De patiënt ziet men op deze foto geplaatst in een universeel statief „Müller" UGX [8]). Een speciaal voor de cineapparatuur ontwikkeld ringstatief komt aan het eind van dit artikel ter sprake. Links in fig. 1 bevindt zich de röntgenbuis, daarachter de hoogspanningsgenerator. Niet zichtbaar is de bedieningslessenaar, die enkele bijzondere voorzieningen voor de röntgencinematografie bevat.

De 28 cm-röntgenbeeldversterker levert een luminantieversterking van op zijn minst 100×. Het versterkte beeld op het kijkscherm kan door twee waarnemers tegelijk worden bekeken met twee op het camerahuis gemonteerde optieken. Deze bekijkoptieken zijn zo aangebracht dat de waarnemer de patiënt binnen handbereik heeft. Tijdens het doorlichten kan de waarnemer met een druk op een knop op elk gewenst moment overgaan tot filmen (wachttijd slechts 0,2 sec). Hij blijft onderwijl het doorlichtingsbeeld waarnemen. Dit is voor de praktijk buitengewoon belangrijk, o.a. omdat men de patiënt soms tijdens het filmen allerlei bewegingen wil laten maken of ondergaan, die men nu op het kijkscherm kan controleren. Met behulp van een foto-elektrische belichtingsmeter kan men desgewenst de over het beeld gemiddelde filmzwarting constant houden, onafhankelijk van eventuele verschillen in röntgenabsorptie bij het bewegen of draaien van de patiënt. In de röntgenapparatuur kan men een „warmte-integrator" aanbrengen, die ervoor zorgt dat de anode van de röntgenbuis niet door al te langdurige en zware belasting te heet kan worden.

Er kan worden gefilmd met een beeldfrequentie instelbaar in 6 stappen van 6 tot 48 beelden per seconde. De filmspoelen, die men in fig. 1 boven op het camerahuis ziet, kunnen 300 meter film bevatten. Voor de filmopnamen kiest men de spanning

[8]) H. Verse en K. Weigel, Een nieuw type onderzoektoestel voor de medische diagnostiek, Philips techn. T. **17**, 162-170, 1955.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



op de röntgenbuis tussen 50 en ca. 125 kV, zoals in de diagnostiek gebruikelijk; de buisstroom behoeft in de regel niet meer dan 20 mA te bedragen.

**Keuze van beeldformaat en splitsing van de reductiefactor**

Het is tekenend voor de situatie waarin de röntgencinematografie zich vóór de komst van de beeldversterker bevond, dat door enkele voorvechters van de röntgencinematografie voor dit doel een 70 mm-camera werd geconstrueerd [9]). Door het lichtgebrek was men gedwongen uiterst gevoelige en derhalve grofkorrelige film te gebruiken. Een relatief groot beeldformaat was dus van belang om niet teveel beeldinformatie door de korreligheid te verliezen, vooral ook bij het bekijken van afzonderlijke beelden in de filmstrook (waarbij géén gebruik wordt gemaakt van de eigenschap van het oog om over een tijd van ca. 0,2 sec, dus over een aantal beelden, te integreren). Het voordeel van 70 mm-film in dit opzicht vond men belangrijker dan het nadeel dat men een kostbare speciale optiek nodig had en dat zulk een film niet rechtstreeks met normale projectoren, die voor 35 mm- of 16 mm-film zijn geconstrueerd, kon worden geprojecteerd. Voor onze apparatuur, waar het probleem van het licht veel minder nijpend geworden is en men derhalve met filmsoorten van fijner korrel kan werken, kwamen wegens het laatstgenoemde gezichtspunt — het projecteren met normale projectoren — uitsluitend het 35 mm- en het 16 mm-formaat in aanmerking. Wat de keuze tussen 35 mm en 16 mm betreft: het 16 mm-formaat is wel aantrekkelijk, aangezien dan de films kunnen worden geprojecteerd met amateurapparatuur, die goedkoper is en waarvoor in de meeste landen geen beperkende politieverordeningen bestaan. Om echter alle informatie van het 28 cm-scherm weer te geven, zou de 16 mm-film zó fijnkorrelig moeten zijn dat men een voor de meeste diagnostische problemen te geringe gevoeligheid zou krijgen. Wij lieten derhalve onze keuze vallen op het 35 mm-formaat.

Het filmvenster van een normale 35 mm-projector heeft de afmetingen ca. 15 × 21 mm. Het ronde beeldveld van de 28 cm-beeldversterker kan derhalve op de film zonder verlies van betekenis weergegeven worden met een diameter van 18 mm. In totaal moet het beeld dus 15,5× worden verkleind. De verkleining gebeurt in twee trappen: de beeldversterker levert op het „kijkscherm" een verkleind beeld van het primaire doorlichtingsbeeld (reductiefactor $r_1$), en de filmcamera ontwerpt een verkleind beeld van het kijkscherm op de film (reductiefactor $r_2$). De voorwaarde $r_1 \times r_2 = 15{,}5$ laat de verhouding van de beide reductiefactoren nog vrij (verdeling van de totale reductie over beeldversterker en camera).

Het is nuttig de reductiefactor $r_1$ van de beeldversterker zo groot mogelijk te kiezen. De luminantieversterking berust nl. voor een groot deel juist op de elektronenoptische verkleining [10]); zij is evenredig met $r_1^2$. Aan het opvoeren van $r_1$ zou alleen een grens worden gesteld door het beperkte scheidend vermogen van de elektronenoptische afbeelding en van het kijkscherm — ware het niet dat de filmcamera, waarvan de reductiefactor $r_2$ kleiner moet zijn naarmate men $r_1$ groter kiest, eveneens beperkingen oplegt.

Zoals reeds werd vermeld, bezit de camera een spiegeloptiek volgens Schmidt, en wel is gebruik

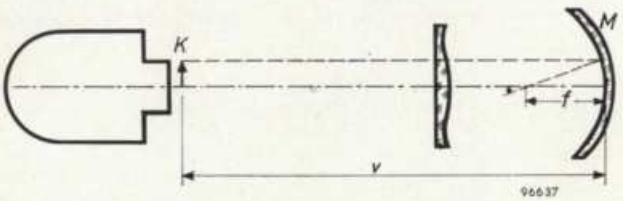



Fig. 2. Situatieschets van beeldversterker en spiegelcamera. De objectafstand $v$ (van kijkscherm $K$ tot spiegel $M$) is verantwoordelijk voor het grootste deel van de totale lengte van het apparaat.

gemaakt van een optisch systeem dat reeds eerder was ontwikkeld voor stationaire schermbeeldfotografie [1]). Het bevat een spiegel van 33 cm diameter, een correctieplaat van $D = 20{,}5$ cm diameter (diafragma), en het bezit een brandpuntsafstand $f = 17$ cm. Voor een dergelijk systeem is om twee redenen een zo klein mogelijke reductiefactor gunstig. Ten eerste krijgt men hiermee een kleine vrije objectafstand $v = (r_2 + 1)f$, die verantwoordelijk is voor het grootste deel van de totale lengte van het apparaat; zie *fig. 2*. (De lengte van de beeldversterker verandert slechts weinig bij variatie van de, met $r_2$ gekoppelde, factor $r_1$.) Ten tweede krijgt men bij kleinere reductiefactor een grotere apertuurverhouding $1 : N$ van het spiegelsysteem. Voor deze apertuurverhouding, die in eerste instantie de lichtsterkte van de camera bepaalt [11]), geldt nl. bij benadering de formule:

[9]) J. S. Watson, S. Weinberg en G. H. Ramsey, A 70 mm cinefluorographic camera and its relation to detail, Radiology **59**, 858-865, 1952.
R. Janker en K. Einert, Röntgenkinematographie mit einer neu entwickelten Kamera für 70 mm breiten perforierten Film, Röntgen-Blätter **7**, 51-58, 1954.

[10]) Zie het in [3]) aangehaalde artikel, blz. 66.

[11]) Zie b.v. W. Hondius Boldingh, Röntgencamerafotografie met behulp van spiegeloptiek, Philips techn. T. **13**, 281-293, 1951.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



$$1 : N = \frac{D}{f} \frac{r_2}{r_2 - 1} \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

Voor $r_2 = 10 - 5 - 2{,}5$ heeft de factor $r_2/(r_2 - 1)$ respectievelijk de waarden 1,1 - 1,25 - 1,66.

De wensen wat betreft $r_1$ en $r_2$ harmoniëren dus goed met elkaar. Helaas stuit men echter bij het verminderen van $r_2$ eerder op grenzen dan bij het opvoeren van $r_1$. De belangrijkste begrenzing ontstaat doordat bij verkleining van $r_2$ de filmhouder steeds verder van de spiegel af en dichter bij de correctieplaat komt te staan. Om hierdoor ontstaande constructiemoeilijkheden te vermijden, hebben we voor de spiegelcamera de reductiefactor $r_2$ niet kleiner dan 3,6 gekozen. De reductiefactor van de beeldversterker werd aldus vastgelegd op $r_1 \approx 4{,}5$ en de diameter van het kijkscherm op ca. 60 mm.

Voor het lichtvangend vermogen van de camera zou een verdergaande verkleining van $r_2$ niet meer veel opleveren, ten gevolge van de schaduwfactor $S$ van de spiegelcamera. De filmhouder, met filmvenster, roterende vlinder en delen van het transportmechaniek, onderschept bij een spiegelcamera onvermijdelijk een deel van de nuttige lichtbundel, zodat slechts een fractie $S$ hiervan de spiegel bereikt. Men ziet in *fig. 3* dat deze fractie geringer wordt naarmate men een kleinere objectafstand, d.w.z. een kleinere reductiefactor $r_2$ heeft; dit doet de winst in de apertuurverhouding ten dele te niet.

Het is na de bovenstaande beschouwingen nodig, nog even terug te komen op de keuze van een spiegelsysteem voor de filmcamera. Bij de vroeger beschreven toepassing van de spiegelcamera voor de schermbeeldfotografie [1]) moet de camera een groot object (normaal doorlichtingsscherm) op een bepaald klein filmformaat afbeelden, dus met een van meet af aan vaststaande reductiefactor, ca. 6 tot 10. De spiegeloptieken hebben voor deze toepassing de lensoptieken vrijwel geheel verdrongen, daar zij bij goede beeldkwaliteit en redelijke prijs een veel grotere lichtsterkte kunnen bezitten. In het thans beschouwde geval, waar een veel kleinere reductiefactor mogelijk en gewenst is, is dit voordeel van de spiegeloptiek minder sprekend. Dit blijft ook waar indien men niet van een gegeven brandpuntsafstand uitgaat (zie boven), doch de keuze hiervan mede in de beschouwingen betrekt. De beslissing ten gunste van het spiegelsysteem berust hier dan ook vooral op andere factoren, zoals de betrekkelijk gemakkelijk verkrijgbare goede beeldkwaliteit, de grote beschikbare ruimte voor bekijkoptieken enz., en op de grote ervaring die bij Philips reeds met spiegelcamera's voor schermbeeldfotografie was opgedaan.

## De 28 cm-röntgenbeeldversterker

De werking van de nieuwe grote beeldversterker is in hoofdzaak analoog met die van het vroeger beschreven kleinere type [3]). We recapituleren ze heel kort, aan de hand van de schematische doorsnede *fig. 4*. De door de patiënt doorgelaten röntgenstralen vallen op het röntgenscherm $R$ en wekken hierin een blauwachtige fluorescentie op. De fotokatode $F$, die op het röntgenscherm is aangebracht en die voornamelijk voor blauw licht gevoelig is, emitteert onder invloed van het fluorescentielicht elektronen. Het röntgenbeeld wordt daardoor in een elektronenbeeld omgezet: de foto-elektronen worden door een elektrostatisch veld in de geëvacueerde buis versneld en tevens gefocusseerd tot een elektronenoptisch verkleind beeld op het in de anode $A$ aangebrachte fluorescentiescherm $K$ (kijkscherm). De versnellingsspanning tussen fotokatode en anode bedraagt 25 kV. De focusseerelektrode $E$, waaraan een regelbare positieve hulpspanning van 100-500 V wordt toegevoerd, maakt het mogelijk het beeld zo scherp mogelijk in te stellen (d.w.z. het beste compromis tussen centrale en perifere beeldscherpte te kiezen).

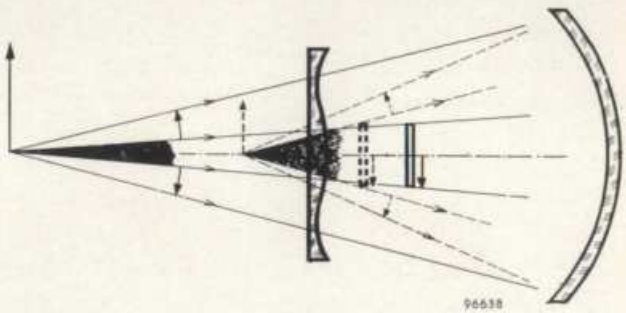



Fig. 3. Bij een voorgeschreven beeldgrootte (filmformaat) zal de filmhouder een des te grotere fractie van de nuttige lichtbundel onderscheppen naarmate men een geringere reductiefactor kiest.

De voornaamste gegevens van de nieuwe buis, waarvan er enkele reeds hierboven werden vermeld, zijn in *tabel I* naast die van de oude (12,5 cm-)buis geplaatst. Enkele verschillen worden nog in hetgeen volgt toegelicht.

Uiterlijk is het meest opvallende verschil tussen de nieuwe en de oude buis, dat de eerstgenoemde wegens de grote afmetingen in hoofdzaak van metaal

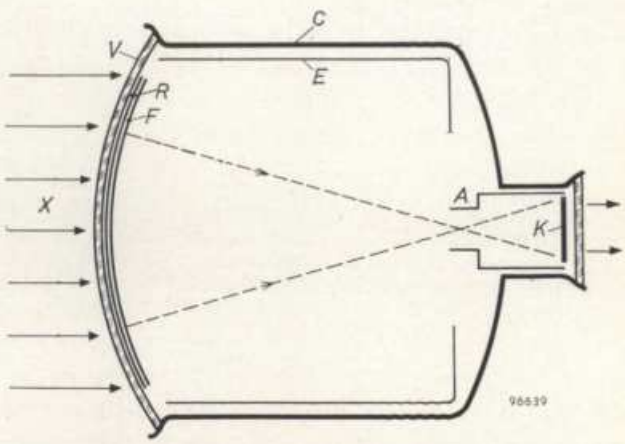



Fig. 4. Schematische doorsnede van de 28 cm-röntgenbeeldversterker. $V$ glazen venster voor het röntgenscherm $R$, $F$ fotokatode, $A$ anode, $K$ kijkscherm, $E$ focusseerelektrode, $C$ chroomijzeren vat.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



**Tabel I.** Gegevens van de kleine en de grote Philips röntgenbeeldversterker *).

| | klein | groot |
|---|---|---|
| diameter nuttig beeldveld | 12,5 cm | 28 cm |
| elektronenoptische verkleiningsfactor | 9,5 | 4,5 |
| helderheidsversterking | $\geqq 1000$ | $\geqq 100$ |
| scheidend vermogen (lijnen/cm) | | |
| in het midden van röntgenscherm | 30 | 22 |
| aan rand van röntgenscherm | 20 | 15 |
| kleinste waarneembare contrast | 4% | 6% |

*) Vermeld zij nog dat de grote buis een speciaal voor de cine-apparatuur gemodificeerde versie is van een in 1953 door de Hoofdindustriegroep Elektronenbuizen ontwikkelde 28 cm-beeldversterker, die — evenals de voorafgaande 12,5 cm-buis — een reductiefactor van ca. 9,5 had.

is vervaardigd, en wel van chroomijzer *(fig. 5)*. De bij de fabricage van televisieweergeefbuizen opgedane ervaring met vacuümdichte chroomijzer-glasverbindingen [12]) heeft bij de constructie van de buis uiteraard een belangrijke rol gespeeld. De röntgenstraling treedt de buis binnen door een bolvormig gekromd glazen venster, waarop in dit geval rechtstreeks het röntgenfluorescentiescherm is aangebracht. Aan de tegenovergestelde kant, in de bodem van de buis, is een optisch vlak kijkvenster ingesmolten. Het röntgenvenster moet dik genoeg zijn om de atmosferische druk en eventuele schokken goed te kunnen weerstaan, maar anderzijds niet dikker dan strikt nodig is, omdat men de röntgenstraling zo weinig mogelijk wil verzwakken. Om dezelfde reden moest de te kiezen glassoort zo weinig mogelijk elementen van hoog atoomgewicht bevatten. Verder moest de samenstelling van het glas zodanig worden gekozen dat een goede hechting aan chroomijzer gewaarborgd was. Met het gekozen glas is de röntgendoorlating van het venster van de grote buis 60%, van de kleine buis 90%, beide gemeten bij een spanning aan de röntgenbuis van 90 kV en een filter van 20 mm Al (ongeveer equivalent met een thorax).

Bij een vroeger gegeven beschrijving van de 12,5 cm-beeldversterker werd op allerlei effecten gewezen die een geringe sluiering van het beeld veroorzaken. O.a. draagt hiertoe bij de röntgenstraling die verstrooid wordt in het venster of, voor zover ze het röntgenscherm heeft kunnen passeren, aan de buiswanden. Ook het fluorescentielicht, voor zover niet door de fotokatode geabsorbeerd, kan na de reflexie tegen de buiswanden een diffuse verlichting van de fotokatode en derhalve een sluiering leveren. Het eerstgenoemde effect treedt bij de grote buis in iets versterkte mate op door de grotere dikte van het röntgenvenster (meer verstrooide röntgenstraling). Toch is het totale contrastverlies niet van veel betekenis, zoals blijkt uit de vermelde waarde van 6% voor het kleinste contrast dat men kan waarnemen (zowel in lichte als in donkere partijen). De weergave der in het röntgenbeeld aanwezige contrasten kan bij het fotografisch vastleggen altijd aanzienlijk verbeterd worden ten opzichte van de visuele waarneming, dank zij het gebruik van een filmmateriaal met een grote gamma.

Het vervaardigen van de buis grotendeels uit metaal bracht de moeilijkheid mee dat tijdens de levensduur gassen uit de wanden kunnen vrijkomen. Komt de druk hiervan boven een bepaalde waarde, b.v. $10^{-5}$ mm Hg, dan kan men last krijgen van een meer of minder storende vlek in het centrum van het kijkscherm. Deze ontstaat door een bombardement van het centrum van de fotokatode door ionen, waardoor hieruit elektronen worden vrijgemaakt die weer worden versneld naar de anode. Men kan de metalen delen tijdens de fabricage niet afdoende

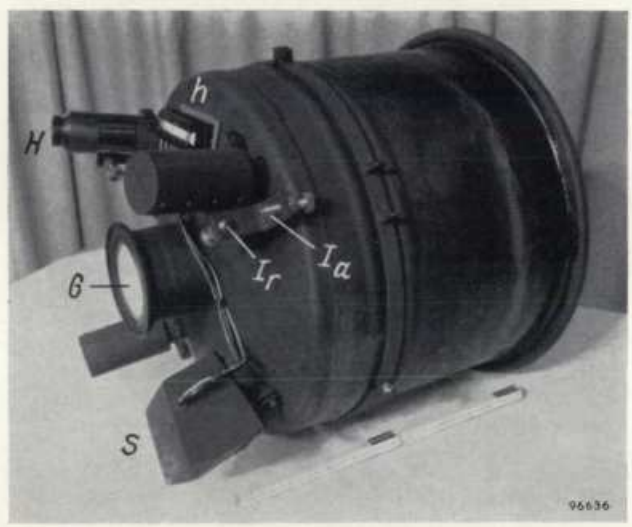



Fig. 5. De 28 cm-röntgenbeeldversterker. *G* glazen venster voor het kijkscherm, *H* aansluiting voor de hoogspanning (25 kV), *h* klemmenblokje voor overige aansluitingen, *S* ionisatiemanometer en -pomp, $I_r$ en $I_a$ resp. één der drie radiale en één der drie axiale instelschroeven.

ontgassen, daar het niet mogelijk is de temperatuur bij het pompen zo hoog op te voeren als hiervoor nodig zou zijn. De oplossing voor het probleem is gevonden in het aanbrengen van een „ionenpomp" op de beeldversterkerbuis: dit is in wezen niets anders dan een ionisatiemanometer, waarin de uit de buis binnentredende gasmoleculen worden geïoniseerd en op een ionencollector verzameld en vastgehouden [13]). De voedingsspanning voor dit „pompje", ca. 2000 V, wordt opgewekt met behulp van een aftakking op de hoogspanningsgenerator, die de versnellingsspanning van 25 kV levert. Met behulp van de pomp alias manometer wordt tevens de druk in de buis

[12]) Philips techn. T. **15**, 59, 1953.

[13]) Zie b.v. Philips techn. T. **20**, 98, 1958 (no. 4).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



gecontroleerd. De verkregen aanwijzing van de druk wordt gebruikt voor het besturen van een veiligheidsschakeling, die het inschakelen van de hoogspanning belet indien de druk in de buis te hoog is opgelopen.

Om bij een eventuele vervanging van de buis de filmcamera niet opnieuw scherp op het kijkscherm te moeten instellen — wat een zeer tijdrovend karwei zou kunnen zijn —, is de buis van een zestal instelschroeven voorzien, die een prefocussering tijdens de fabricage mogelijk maken. Drie schroeven (zie fig. 5) zijn axiaal gericht en worden zo gesteld dat hun aanslagpunten in een bepaald vlak evenwijdig met het kijkscherm liggen, met een fout van minder dan 0,1 mm. Het omhulsel waarin de buis en de camera worden gemonteerd, is voorzien van een pasvlak dat loodrecht op de optische as van het geheel staat. De buis wordt met behulp van een verende ophanging met de genoemde aanslagpunten tegen dit pasvlak gedrukt, het kijkscherm ligt dan precies in het voorwerpsvlak van de spiegelcamera. Op analoge wijze wordt, met drie vooraf ingestelde radiaal gerichte instelschroeven op de buis en een cilindrisch pasvlak in het omhulsel, het midden van het kijkscherm op de juiste plaats gebracht, met een afwijking van ten hoogste 0,5 mm.

**De filmcamera en toebehoren**

*Lichtvangend vermogen en scheidend vermogen*

Hierboven hebben we reeds enige gegevens van de optiek van de spiegelcamera vermeld: diameter van de spiegel = 33 cm, diameter $D$ van het diafragma = 20,5 cm, brandpuntsafstand $f = 17$ cm, reductiefactor $r = 3{,}6$. Uit verg. (1) volgt met deze gegevens de apertuurverhouding $1 : N = 1 : 0{,}60$. De effectieve apertuurverhouding is kleiner, doordat het filmhuis, de vlinder enz. een deel van het in de camera vallende licht onderscheppen, in ons geval ca. 50% (schaduwfactor 0,5). Men krijgt daardoor:

$$1 : N_{\text{eff}} = 1 : 0{,}83,$$

een buitengewoon hoge waarde, die ongeveer overeenkomt met de grootste waarden die men bij de stationaire schermbeeldfotografie met spiegelcamera's heeft kunnen bereiken.

Voor een juiste appreciatie van het verkregen lichtvangend vermogen van de camera moet men nog letten op de beeldkwaliteit en op factoren die buiten de camera zijn gelegen, zoals de eigenschappen van röntgenscherm en filmmateriaal, die mede bepalen hoeveel röntgenstraling men voor één beeldje nodig zal hebben. Dit is immers de grootheid waar het per saldo om gaat.

Wat de beeldkwaliteit betreft, is het een zeer gunstige omstandigheid dat de optiek slechts een klein gezichtsveld behoeft te hebben, nl. van 7°. Dit is te danken aan de relatief grote brandpuntsafstand en aan de geringe grootte van het af te beelden kijkscherm. Ter vergelijking zij vermeld dat in de stationaire schermbeeldfotografie gezichtsvelden tot ca. 30° vereist zijn. Zelfs de spiegelcamera volgens Schmidt, die zich, vergeleken bij andere optische stelsels, bijzonder goed leent voor het scherp afbeelden van grote gezichtsvelden, levert bij zulke grote hoeken moeilijkheden op. Terwijl men tot 25° voor technische toepassingen nog een voldoende scherpte zowel aan de randen als in het midden krijgt, moet men bij 30° iets van de scherpte in het midden opofferen om, door een iets gewijzigde vorm en plaats van de correctieplaat, de scherpte aan de rand te verbeteren. Wil men dit vermijden, dan moet men overgaan tot gecompliceerder optische stelsels, zoals een spiegelcamera met drie correctieplaten in plaats van één, of met een correctielichaam en een zg. kegellens [14]).

Deze complicaties zijn dus bij onze camera voor cinematografie niet nodig geweest, en alle aandacht kon worden geconcentreerd op het verkrijgen van een zo groot mogelijke scherpte in het midden van het kleine gezichtsveld. De camera is daardoor in staat ca. 110 lijnen per cm op het kijkscherm te scheiden.

In de praktijk komt dit hierop neer dat niet de camera, maar vrijwel steeds de korreligheid van de film het scheidend vermogen zal begrenzen. Met gevoelige schermbeeldfilms (Gevaert Scopix, Agfa Fluorapid) komt men tot ca. 60 lijnen/cm van het kijkscherm. Met enige minder gevoelige maar fijnkorreliger emulsies, die in proefgietingen door Gevaert, Agfa en Kodak werden gemaakt, konden we ca. 75 lijnen/cm bereiken, bij een toch nog betrekkelijk geringe röntgendosis op de patiënt. Voor het beschouwen van het geprojecteerde bewegende beeld levert dit fijnkorrelige materiaal overigens geen voordeel, daar men dan, dank zij het reeds vermelde integrerend vermogen van het oog, met de grofkorrelige emulsies eveneens een scheidend vermogen van 75 lijnen/cm haalt, terwijl de integratie bij de fijnkorrelige geen verbetering meer brengt.

Vergelijken we ten slotte de röntgenenergie die voor één enkel beeld bij verschillende röntgenografische methodes nodig is, dan komen we tot de volgende globale verhoudingsgetallen (in feite hangen deze nog enigszins van de spanning op de

[14]) A. Bouwers, Improvement of resolving power of optical systems by a new optical element, Appl. sci. Res. **3B**, 147-148, 1953.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



röntgenbuis en van het gebruikte filter in de straling af, daar de methodes met verschillende spectrale gevoeligheid werken). Stellen we de energie voor een normale directe opname = 1 (bij gebruik van fluorescerende versterkingsschermen van gemiddelde lichtsterkte), dan is bij de beschreven apparatuur voor cinematografie de vereiste energie 0,02 tot 0,03; voor de cinematografie met de 12,5 cm-beeldversterker en een daarbij gebruikte, vroeger beschreven, tandemoptiek [15]) ca. 0,015 tot 0,02; en voor normale, stationaire schermbeeldfotografie 3 tot 5 (in alle gevallen gerekend mèt gebruik van een strooistralenrooster, hoewel dit bij de 12,5 cm-beeldversterker meestal niet nodig zal zijn). De belasting van de röntgenbuis is, ondanks het hier blijkende verschil, voor de beide cinematografische systemen vrijwel even groot, daar we de camera voor de 28 cm-beeldversterker hebben voorzien van een 1,5× zo grote vlinderopening, nl. 270° in plaats van 180°. Dit was zonder enige complicatie mogelijk doordat het filmtransportmechanisme van deze camera is geconstrueerd met een maltezerkruis (zie hieronder).

Uit de vermelde getallen, die men moet houden naast talrijke reeds gepubliceerde opnamegegevens (zie b.v. [4])), kan men concluderen dat met een röntgenapparatuur die tot voldoend hoge spanningen geschikt is (125 kV), thans alle objecten in het menselijke lichaam, ook van relatief grote afmetingen, kunnen worden gefilmd zonder dat de patiënt een onverantwoord grote dosis röntgenstraling behoeft te ontvangen (zie *tabel II*).

[15]) P. M. van Alphen, Optische hulpmiddelen bij de beeldversterker, Philips techn. T. **17**, 73-80, 1955, speciaal blz. 79.

*De bekijkoptiek*

In de doorsneetekening *fig. 6* ziet men hoe de optiek is geconstrueerd waarmee de twee waarnemers het beeld tijdens het filmen kunnen bekijken. De oculairs van de kijkers bevinden zich aan weerskanten van de beeldversterker vlak bij de patiënt en zijn zo gericht dat de waarnemers de indruk hebben naar het röntgenscherm te kijken (fig. 1). Deze plaatsing is mogelijk gemaakt door voor elke kijker de gang der lichtstralen met behulp van vier vlakke spiegels op te vouwen. De waarnemers zien het beeld vrijwel rechtopstaand en op iets meer dan de helft van de ware grootte.

De eerste spiegel van beide kijkers bevindt zich nagenoeg op de optische as van de camera. Deze

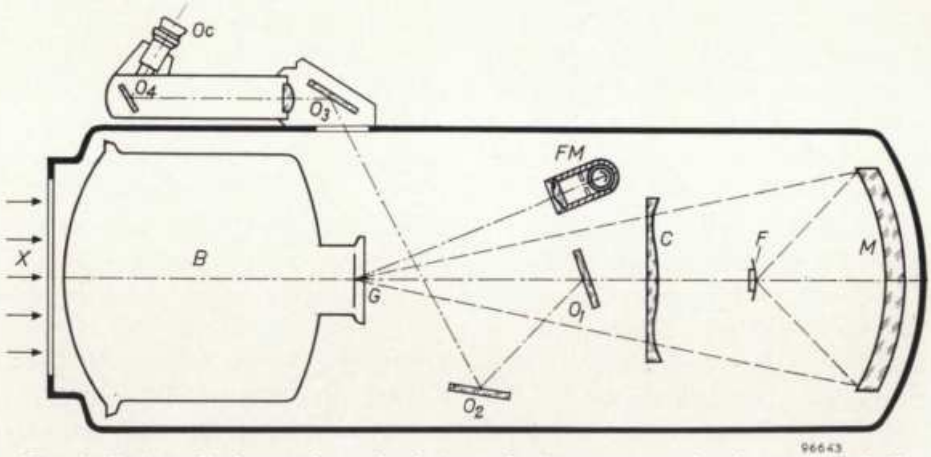



Fig. 6. Horizontale doorsnede van het huis van de cineapparatuur (sterk vereenvoudigd). *X* röntgenstralen, *B* beeldversterkerbuis met kijkvenster *G*, *M* spiegel en *C* correctieplaat van de filmcamera, *F* film, $O_1$-$O_2$-$O_3$-$O_4$ spiegels en *Oc* oculair van de bekijkoptiek (duidelijkheidshalve is slechts één der beide bekijkoptieken getekend), *FM* fotomultiplicator met voorgeplaatste optiek voor het meten van de helderheid van het kijkscherm.

**Tabel II.** Enige voorbeelden van opnamegegevens en patiëntdosis bij het filmen met de beschreven apparatuur, bij een beeldfrequentie van 16 beelden per sec en bij gebruik van een cinefilm waarvan de gevoeligheid vergelijkbaar is met 100 A.S.A. *)

| Lichaamsdeel | Buisspanning (kV) | Buisstroom (mA) | Afstand van focus tot beeldversterker (cm) | Focushuidafstand (cm) | Huiddosis, bij 2 mm Al extrafilter (r/min) |
|---|---|---|---|---|---|
| Kaakgewricht | 70 | 10 | 100 | 80 | 2,5 |
| Halswervelkolom, zijdelings | 70 | 6 | 100 | 80 | 1,5 |
| Slokdarm, bovenste deel | 80 | 4 | 100 | 80 | 1,5 |
| Slokdarm, borstgedeelte | 100 | 8 | 80 | 50 | 10 |
| Maag, voorachterwaarts | 125 | 9 | 80 | 50 | 16 |
| Dunne darm | 125 | 9 | 80 | 50 | 16 |
| Nier | 100 | 9 | 80 | 50 | 12 |

*) Deze belichtingstabel is slechts als oriënterend te beschouwen, aangezien de gegevens sterk worden beïnvloed door factoren als patiëntdikte, strooistralenrooster, donkerekamertechniek, enz.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



spiegels zijn zó klein gehouden dat zij vrijwel geheel binnen de stralenkegel liggen die op de achterkant van de filmhouder valt en die dus voor de opname niet meewerkt. Door deze beperking in de spiegelgrootte blijft dus het lichtvangend vermogen van de camera ten volle behouden, maar natuurlijk ten koste van de helderheid van het visueel waargenomen beeld. De reflexieverliezen bij het veelvuldig spiegelen zijn hiervoor eveneens nadelig, maar de verkregen helderheid is toch nog ruim voldoende. Hiertoe draagt ook bij dat de kijkers geconstrueerd zijn met een uittreepupil van 5 mm, d.i. groter dan de intreepupil van het oog van vrijwel elke waarnemer (behalve misschien een zeer jeugdige).

*Het systeem voor de belichtingsmeting*

De gemiddelde helderheid van het kijkscherm van een beeldversterker kan men principieel zeer eenvoudig bepalen door de stroom door de buis te meten. Men heeft dan immers een maat voor het totale aantal foto-elektronen dat van het röntgenscherm naar het kijkscherm gaat, en dit is — bij gegeven oppervlakte van het kijkscherm — een maat voor de gemiddelde helderheid.

Deze methode, die we bij de 12,5 cm-röntgenbeeldversterker inderdaad toepassen, is voor de 28 cm-beeldversterker minder geschikt, omdat het bij dit grote formaat nogal eens zal voorkomen dat het te onderzoeken object niet het gehele röntgenscherm beslaat. Soms zal men dan de röntgenbundel diafragmeren, om de patiënt niet aan onnodige röntgenstraling bloot te stellen en tevens om de verstrooide straling te verminderen. In dat geval varieert de oppervlakte van het kijkscherm waarover men moet middelen, en de meting van de helderheid wordt minder eenvoudig. Diafragmeert men niet, dan hebben de te heldere of te donkere perifere delen van het scherm een ongewenste invloed op het meetresultaat.

Om deze reden is een systeem gekozen waarbij men rechtstreeks de helderheid van het kijkscherm meet, en wel alleen van het centrale deel daarvan, dat — behalve in heel enkele gevallen — altijd door het beeld bedekt wordt. De opstelling bevat een fotomultiplicatorbuis met voorgeplaatste lens en diafragma (zie fig. 6). De lens beeldt het kijkscherm af in het vlak van de fotokatode van de multiplicatorbuis, het diafragma begrenst het afgebeelde gedeelte tot een cirkel van 22 mm diameter op het kijkscherm (ofwel 10 cm op het röntgenscherm). Men kan dit diafragma overigens verwisselen, indien een andere veldbegrenzing beter past bij het werk dat men met de apparatuur wil doen. Een tegen het diafragma geplaatste matglazen plaat maakt eventuele kleine plaatselijke verschillen in de gevoeligheid van de fotokatode onschadelijk.

Het elektrische signaal dat de fotomultiplicatorbuis als maat voor de schermhelderheid levert, kan op een meter worden afgelezen. De verwerking van dit gegeven bij het filmen wordt verderop nog nader besproken.

*Mechaniek van de filmcamera*

De films worden opgenomen op, normaal geperforeerde, 35 mm-film. Omdat het te filmen voorwerp omgekeerd op het kijkscherm staat, moet de film, anders dan bij normale filmcamera's, van beneden naar boven langs het filmraam worden getransporteerd; bij de normale projectie komt het voorwerp dan weer op zijn pootjes terecht.

Het filmmasker is aangepast bij het kijkscherm: het is rond en heeft, zoals vermeld, een diameter van 18 mm, hetgeen behoorlijk past bij de gestandaardiseerde afmetingen van 15,2 × 20,9 mm van het filmmasker in normale 35 mm-projectoren. Men verliest door de afsnijding bij de normale projectie slechts 7,2% van het beeld, terwijl het beeld 40% groter is dan wanneer men de diameter = 15,2 mm gekozen had. Dit komt vooral de beeldkwaliteit bij het bekijken van afzonderlijke beelden ten goede. Overigens is het in principe mogelijk het filmmasker van een normale projector zodanig te vergroten dat men niets van het ronde beeld van 18 mm diameter afsnijdt (de beeldsteek van 35 mm-film is 19 mm).

Het mechaniek voor het filmtransport is in *fig. 7* schematisch in doorsnede weergegeven. Het sprocket (*3*) dat de film telkens ruksgewijze doortrekt, wordt aangedreven door een maltezerkruis. Dit geeft een betrouwbaarder filmtransport en minder slijtage van film en mechaniek dan het in opneemcamera's meer gebruikelijke grijpermechanisme, vooral bij hoge beeldfrequenties. Bovendien is bij het normale (vierdelige) maltezerkruis de opzettijd van de film vanzelf al niet langer dan $^1/_4$ van de per beeld beschikbare tijd, zodat de vlinder zonder verdere maatregelen een openingshoek van 270° kan krijgen. De asynchrone motor voor het filmtransport kan op twee toerentallen worden ingesteld, en de aandrijving van de transportas wordt bewerkstelligd via een tandwielkast met drie „versnellingen"; zo kunnen de zes eerder vermelde beeldfrequenties, van 6 tot 48 beelden per seconde, worden verkregen. Ten behoeve van titelwerk en andere speciale wensen is verder een achteruitlopen van de film mogelijk. Daar de vlinderopening 270° bedraagt, varieert de belichtingstijd van $^1/_8$ sec (bij 6 beelden/sec) tot $^1/_{64}$ sec (bij 48 beelden/sec). De motor loopt

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



reeds tijdens het, de opname voorbereidende, doorlichten. Een elektromagnetische koppeling zorgt dat, bij het overschakelen op filmen, de transportas met niet meer dan 0,1 sec vertraging in beweging komt.

van de film in een plat vlak is te verwaarlozen. Met het oog op de voorkomende hoge beeldfrequenties kan men de boldrukker niet, zoals bij constructies voor enkele opnamen [1]), zo construeren dat hij de film tijdens het transport telkens loslaat. Voor het

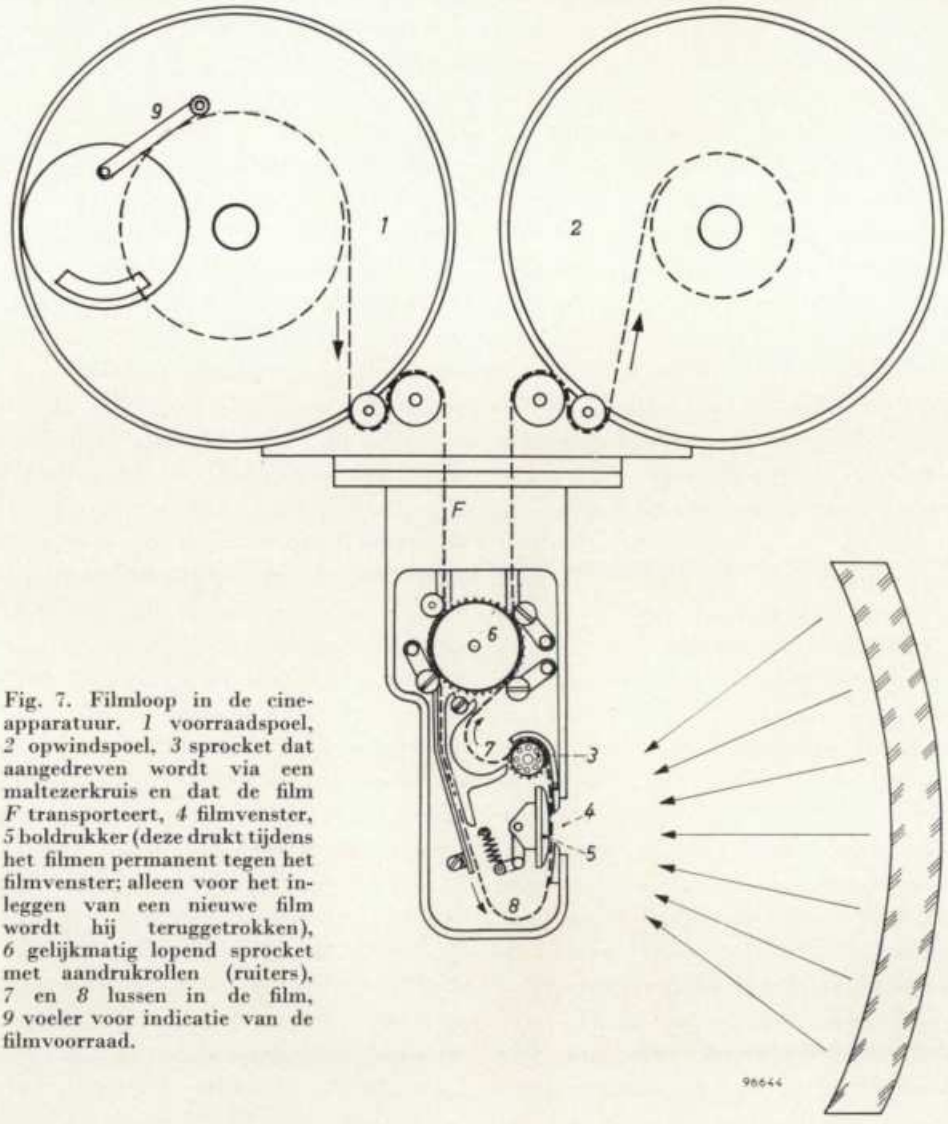



Fig. 7. Filmloop in de cineapparatuur. *1* voorraadspoel, *2* opwindspoel, *3* sprocket dat aangedreven wordt via een maltezerkruis en dat de film *F* transporteert, *4* filmvenster, *5* boldrukker (deze drukt tijdens het filmen permanent tegen het filmvenster; alleen voor het inleggen van een nieuwe film wordt hij teruggetrokken), *6* gelijkmatig lopend sprocket met aandrukrollen (ruiters), *7* en *8* lussen in de film, *9* voeler voor indicatie van de filmvoorraad.

Evenals bij de vroeger beschreven spiegelcamera's voor schermbeeldfotografie [1]) wordt de film door een bolle aandrukplaat (5) tegen het filmraam gedrukt. Men moet dit doen, omdat bij de spiegeloptiek volgens Schmidt het beeldvlak waarin een vlak voorwerp wordt afgebeeld, bolvormig gekromd is (concentrisch met de spiegel). Ook zonder deze voorwaarde zou men een aandrukplaat moeten aanbrengen, omdat de zeer grote hoek waaronder de film de spiegel ziet (ca. 100°), een uiterst nauwkeurige plaatsing van de gevoelige filmlaag — onafhankelijk b.v. van de filmdikte — noodzakelijk maakt. De mechanische vervorming bij het boldrukken wordt door het filmmateriaal gemakkelijk opgenomen, en de beeldvertekening na terugkeer vlot doortrekken moeten derhalve de aandrukschenen van het filmraam zeer zorgvuldig geconstrueerd zijn, en men moet er rekening mee houden dat bij sommige filmsoorten het filmraam vaker van aanhangende emulsie moet worden ontdaan dan in normale filmcamera's. Bij films met een geharde emulsie echter heeft men met dit verschijnsel weinig moeite.

In de röntgencinematografie wordt soms gebruik gemaakt van een loden vlinder die men vóór het venster van de röntgenbuis laat roteren, om de patiënt te vrijwaren van röntgenstraling in die periodes waarin de film wordt verdergetrokken en dus toch geen belichting kan plaatsvinden. Deze loden vlinder moet dan natuurlijk nauwkeurig

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



synchroon en in de juiste faze lopen met de vlinder van de filmcamera. De beide vlinders kunnen daartoe gekoppeld worden door een zg. elektrische as: op de as van de asynchrone motor die de film aandrijft is een „synchro" aangebracht, die met een andere synchro op de as van de loden vlinder verbonden is. De synchro op de motoras maakt het ook mogelijk, een tweede cine-apparatuur synchroon te laten lopen, b.v. als men van een patiënt gelijktijdig een frontale en een transversale filmopname maken wil — een techniek die inderdaad soms wordt toegepast.

De grote filmspoelen van de camera, voor 300 meter film, hebben het voordeel dat men niet zo vaak een nieuwe film moet inzetten. Voorraad- en ontvangspoel worden, zoals gebruikelijk, met een frictiekoppeling aangedreven. Bovendien is de voorraadspoel van een automatische terugloop voorzien, die zorgt dat na het beëindigen van een opname de filmlus, welke door het iets doordraaien van de voorraadspoel met de zware 300 m-filmrol zou ontstaan, weer wordt weggewerkt. Deze maatregel was nodig, omdat anders bij opnieuw starten, vooral met een grote beeldfrequentie (48 beelden/sec), kans op breken van de film bestond: een lus in de film zou het transportmechanisme gelegenheid geven om op volle toeren te komen terwijl de aandrijving van de voorraadspoel nog een weinig slipt, zodat de film na opwerken van de lus met een ruk aan de spoel zou gaan trekken.

Aangezien het gebruik van een grote filmrol meebrengt dat de film zich lange tijd op de voorraadspoel bevindt en daardoor in zekere mate aan secundaire röntgenstralen blootstaat, is de voorraadcassette bekleed met een loden mantel. Deze beschermt ook het gevoeligste filmmateriaal afdoende tegen sluiering, zelfs als men met röntgenstralen van 125 kV werkt.

**Voorzieningen in het röntgenapparaat**

Aan de voeding van de röntgenbuis worden in de beschreven installatie geheel andere eisen gesteld dan in de normale röntgendiagnostiek. De gewenste buisspanningen zijn wel dezelfde (tot ongeveer 125 kV), maar terwijl men in de normale diagnostiek werkt met buisstromen van 100-500 mA en opnametijden van $^1/_{100}$ tot enkele seconden, heeft men nu veel geringere buisstromen nodig, nl. meestal niet meer dan 20 mA, daarentegen veel langere belastingstijden, b.v. 10-100 sec. Het laatste feit maakt dat men ter dege rekening moet houden met de belastbaarheidsgrens van de röntgenbuis, die in dit geval niet door de focustemperatuur maar door de temperatuur van de anode als geheel wordt gesteld (behalve bij gebruik van een zeer klein focus, van b.v. 0,3 mm). Om zo lang mogelijk te kunnen filmen zonder tegen deze belastbaarheidsgrens aan te lopen, verdient het aanbeveling, de röntgenbuis te voeden met gelijkspanning (b.v. door de gelijkgerichte spanning van de hoogspanningsgenerator nog met behulp van condensatoren af te vlakken). Voor een gegeven totale hoeveelheid röntgenstraling is dan de vereiste elektrische energie en dus de in de anode ontwikkelde warmte het kleinst. Bovendien is men bij gebruik van gelijkspanning gevrijwaard voor stroboscopische effecten, ook bij variërende beeldfrequenties, terwijl men bij pulserende buisspanning eventueel gecompliceerde maatregelen tegen zulke effecten zou moeten nemen (vooral bij 48 beelden per seconde).

De tijdschakelaar, waarmee men in normale röntgendiagnostiekapparaten de belastingstijd van de buis (en daarmee de belichtingstijd van de röntgenopname) instelt, is voor de cine-apparatuur niet nodig; de schakelaar waarmee men het filmtransport start, schakelt tevens, voor zo lang als de film loopt, de röntgenbuis in, of nauwkeuriger: brengt de buisbelasting op de gewenste waarde. Gewoonlijk immers zal vóór het filmen de röntgenbuis reeds met een geringe buisstroom, van ca. 1 mA, in werking zijn, opdat de waarnemer het röntgenbeeld kan instellen en beoordelen (doorlichten) en het geschikte moment voor het begin van het filmen kan kiezen. Het opvoeren van de buisstroom van de doorlichtingswaarde tot de opnamewaarde moet daarna zo snel mogelijk gebeuren. De thermische traagheid van de gloeikatode van de röntgenbuis stelt hier een grens, maar dank zij de werking van de zwartingsstabilisator, die we nu willen bespreken, kon de overgangstijd worden beperkt tot gemiddeld 0,1 sec.

De hierboven beschreven foto-elektrische helderheidsmeter, die in het camerahuis is gemonteerd, levert een elektrisch signaal, dat wordt afgelezen op een meetinstrument op de bedieningslessenaar. Rekening houdende met de gevoeligheid van de gebruikte filmsoort en de ingestelde beeldfrequentie, kan men op grond van deze aflezing, vóór het eigenlijke onderzoek, de gewenste buisstroom (en evtl. de buisspanning) instellen. Bovendien echter is bij onze apparatuur de mogelijkheid gegeven, het circuit van de helderheidsmeter te koppelen met dat van de buisgloeistroom; door het uitgangssignaal van de fotomultiplicator wordt dan de buisstroom zodanig geregeld dat variaties in de belichting, en daarmee in de gemiddelde zwarting van de film, worden tegengewerkt. Deze zwartingsstabilisatie is voor de röntgencinematografie, in die gevallen waar-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



bij bewegingen van de patiënt van belang kunnen zijn en de röntgenabsorptie tijdens het filmen derhalve sterk kan wisselen, zeer nuttig gebleken. (Soms kan de automatische zwartingsregeling ongewenst zijn, b.v. bij grote verplaatsingen van een contrastmiddel; regeling met de hand blijft hiervoor mogelijk.) In *fig. 8* is het schema van de stabilisator vereenvoudigd weergegeven; men ziet hierin ook, hoe de variaties van filmgevoeligheid en beeldfrequentie in de regeling worden verdisconteerd. De bovenvermelde bekorting van de overgangstijd bij het begin van het filmen is hieraan te danken dat de stabilisator, wannneer ter verkrijging van een bepaalde filmzwarting plotseling een verhoging van de buisstroom nodig wordt, de gloeistroom niet direct op de nieuwe stationaire waarde instelt (die zal de regelaar immers pas „weten" wanneer de toestand weer stationair geworden is), maar, zolang

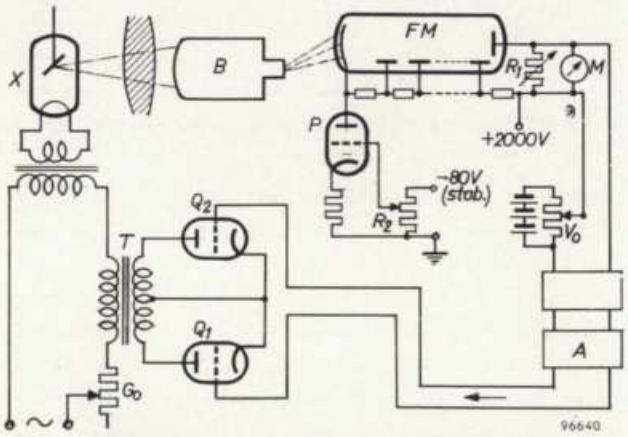



Fig. 8. Schema van de zwartingsstabilisator. De gloeikatode van de röntgenbuis $X$ wordt gevoed via de transformator $T$, waarvan de secundaire is belast met de triodes $Q_1$ en $Q_2$, die samen als regelbare wisselstroomweerstand fungeren. De roosterspanning van de triodes beïnvloedt dus de impedantie die de primaire van $T$ in de gloeistroomketen van de röntgenbuis vormt. De roosterspanning — en daarmee de stroom door de röntgenbuis — wordt geregeld door het uitgangssignaal van de, naar het kijkscherm van de beeldversterkerbuis $B$ kijkende, fotomultiplicator $FM$, zodanig dat de uitslag van het meetinstrument $M$, die een maat is voor de waargenomen helderheid van het kijkscherm, vrijwel constant blijft. De gelijkspanning die de fotostroom opwekt over $R_1$, wordt daartoe vergeleken met de zeer constante spanning $V_0$, en het verschil wordt (na omzetting in een wisselspanning door een triller en na versterking in $A$) toegevoerd aan de roosters van $Q_1$, $Q_2$. Door instelling van $V_0$ kan men de gewenste uitslag van $M$ eens voor al op een bepaalde grootte brengen, b.v. het midden van de schaal.

Variatie van $R_1$ maakt dat men op verschillende kijkschermhelderheid stabiliseert, en een soortgelijk effect heeft variatie van $R_2$, waardoor nl. de (door de triode $P$ gestabiliseerde) voedingsspanning van de fotomultiplicator veranderd wordt. Men kan nu zorgen dat de constante uitslag van $M$ aan een bepaalde gewenste filmzwarting beantwoordt, door $R_1$ in te stellen in overeenstemming met de gekozen beeldfrequentie (regelgebied 1 : 8) en $R_2$ in overeenstemming met de filmgevoeligheid (regelgebied 1 : 10).

Door instelling van $G_0$ beperkt men de maximaal mogelijke gloeistroom van de röntgenbuis (die optreedt als b.v. abusievelijk de beeldversterker is uitgeschakeld) tot een voorgeschreven waarde (55 tot 60 mA). De regeling werkt tussen gloeistroomwaarden van ca. 0,3 en 50 mA.

de helderheid op het kijkscherm nog in aanzienlijke mate tekortschiet, op een veel grotere waarde dan de stationaire. Dit is toegelicht in *fig. 9*.

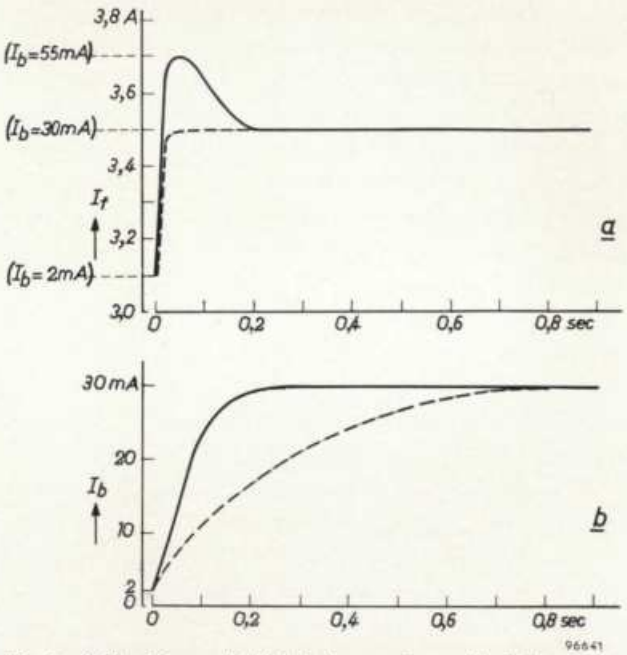



Fig. 9. *a*) Gloeistroom $I_f$, *b*) buisstroom $I_b$ van de röntgenbuis, als functie van de tijd na overschakelen van doorlichten op filmen. Werd hierbij $I_f$ van de doorlichtwaarde 3,1 A eenvoudig op de vereiste nieuwe waarde, b.v. 3,5 A (voor een buisstroom van 30 mA), gebracht, dan zou $I_b$ ca. 0,8 sec nodig hebben voor het bereiken van de eindwaarde (gestippelde krommen). De zwartingsstabilisator echter doet de gloeistroom aanvankelijk, zolang de schermhelderheid nog veel te klein is, doorschieten tot de maximaal mogelijke waarde 3,7 A, waardoor de vereiste buisstroom (en daarmee de gewenste filmzwarting) veel sneller wordt bereikt (getrokken krommen). Natuurlijk moest bij de dimensionering van de schakeling zorg worden gedragen, dat het doorschieten geen slingeren tot gevolg heeft.

Een typisch kenmerk van de röntgencinematografie is, dat de medicus meestal niet van te voren de filmduur zal kunnen vaststellen, doch dat hij deze laat afhangen van wat hij via de bekijkoptiek gedurende het filmen waarneemt. Dit houdt in dat er maatregelen moeten worden genomen om te beletten dat men de toelaatbare belastingsduur, die bij de ingestelde waarden van buisspanning en buisstroom behoort, overschrijdt. De zaak wordt nog gecompliceerder doordat de buisstroom, zoals we zojuist gezien hebben, tijdens het filmen veelal niet constant blijft, terwijl bovendien aan het filmen een zekere doorlichtingstijd vooraf kan gaan of, nog erger, doorlichten en filmen, met eventuele rustpauzen, elkaar telkens kunnen afwisselen. Het normale „buisnomogram", dat voor gegeven koelingsomstandigheden (bepaalde intervallen van belasting enz.) de toelaatbare combinaties van spanning, stroom en belastingstijd geeft, is dan wel zeer moeilijk in toepassing te brengen. We hebben daarom een soort analogierekenmachine (een „warmteintegrator") geconstrueerd, die gedurende het

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



werken doorlopend uit stroom en spanning de elektrische energie integreert, op een wijze die het verwarmend effect van elke energiebijdrage op de anode en tevens de afkoeling gedurende de rustpauzen alsook gedurende de belasting (koeling door straling van de anode) in rekening brengt. In *fig. 10* is het schema van de schakeling geschetst en nader toegelicht. Het op een meter afleesbare resultaat van de integratie, dat nu een directe maat is voor de bereikte anodetemperatuur, kan vergeleken worden met de op dezelfde meter gemarkeerde toelaatbare totale belasting (alias temperatuur), zodat men doorlopend ziet hoeveel men nog doen kan.

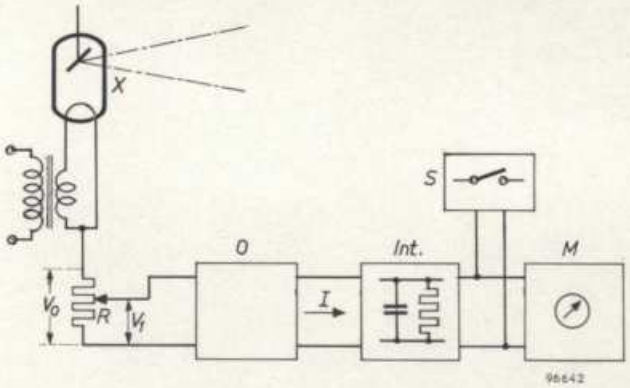



Fig. 10. Blokschema van de warmte-integrator voor beveiliging van de röntgenbuis. De spanning $V_0$ over de weerstand $R$ is evenredig met de buisstroom. Van $V_0$ wordt door het glijcontact op $R$ een deel $V_1 = aV_0$ afgetakt. Het glijcontact is zodanig gekoppeld met de instelknop van de buisspanning, dat $a$ evenredig met deze laatste is. De spanning $V_1$ is dus op elk ogenblik een maat voor het aan de röntgenanode toegevoerde vermogen.

Voor het integreren van dit vermogen zijn we ervan uitgegaan dat men de opwarming met gelijktijdige afkoeling van de buisanode met enige benadering kan voorstellen door het laden van een lekkende (d.w.z. van een parallelweerstand voorziene) condensator. De genoemde spanning $V_1$ wordt daartoe door een schakeling (in het blok $O$) omgezet in een laadstroom $I$, die aan de met „*Int*" aangeduide $RC$-kring wordt toegevoerd. Bereikt de condensator een bepaalde, op de meter $M$ af te lezen, spanning — de „uitschakelspanning" —, dan heeft op hetzelfde moment de anode de hoogste toelaatbare warmtehoeveelheid vergaard, en het filmen moet afgebroken worden, wat automatisch door de schakelaar $S$ kan gebeuren.

De schakeling $O$ is zodanig uitgevoerd dat de laadstroom $I$ volgens een bepaalde functie varieert met $V_1$. Deze functie is gevonden door voor elke (constant gedachte) waarde van $V_1$ de stroom $I$ zo te kiezen dat de condensator, beginnend bij spanning nul, de „uitschakelspanning" juist in die tijd bereikt die volgens het bekende buisnomogram de maximale belastingstijd is bij het desbetreffende (aan $V_1$ beantwoordende) vermogen. Proeven hebben aangetoond dat nu ook bij variërend vermogen, met b.v. tussentijds wel eens de waarde nul, de totale tijd tot het bereiken van de uitschakelspanning met goede benadering de juiste waarde krijgt.

Daar het buisnomogram voor een bepaald focus op de anode van de röntgenbuis geldt, hebben we twee verschillende schakelingen $O$ gemaakt, waarin het nomogram voor twee focussen verwerkt is. Schakelt men de belasting van de röntgenbuis over van het ene focus naar het andere, dan wordt automatisch de juiste schakeling $O$ in werking gesteld (en de schakelaar $S$ op een andere, bij dat focus behorende uitschakelspanning ingesteld).

De schakelaar $S$ maakt de belasting van de röntgenbuis pas weer mogelijk als de spanning van de condensator $C$ tot 80% van de uitschakelwaarde is gedaald.

Bij het bereiken van de grens wordt automatisch de hoogspanning uitgeschakeld, zodat men zolang mogelijk kan werken en toch de röntgenbuis niet door onoplettendheid kan overbelasten.

Behalve de stabilisatie van de filmzwarting en de beveiliging van de röntgenbuis zal voor de medicus in vele gevallen ook een rechtstreekse controle gewenst zijn van de dosis röntgenstraling die een bepaalde patiënt bij het filmen ontvangt. Daartoe kan in de weg der röntgenstralen een ionisatiekamer worden geplaatst, waarvan de stroom door een versterkerschakeling wordt geïntegreerd. Het resultaat van de integratie, dat een maat is voor de totale dosis in röntgen die door de buis op een bepaalde afstand wordt geleverd, kan worden afgelezen op een meter op de bedieningslessenaar. Tegelijkertijd wordt hier de totale tijd aangegeven gedurende welke er gefilmd is.

In *fig. 11* is een foto van de bedieningslessenaar van de apparatuur voor cinematografie gereproduceerd, waarop de verschillende hier genoemde meters zijn te zien. De uitvoering is zodanig dat de röntgenbuis en de hoogspanningsgenerator ook kunnen

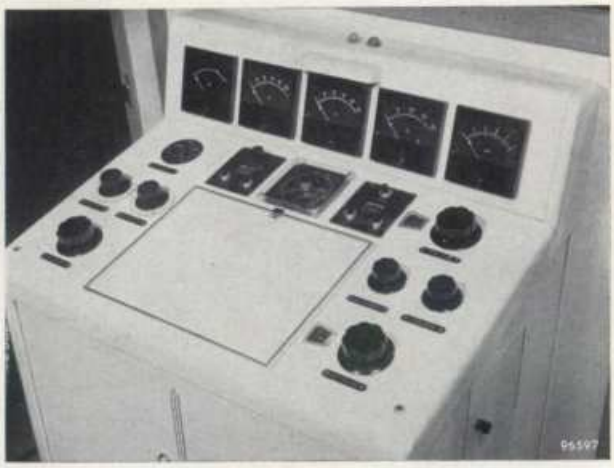



Fig. 11. Bedieningslessenaar voor de röntgencineapparatuur. Op de vijf schuin geplaatste meetinstrumenten leest men af, van rechts naar links: de buisstroom, de filmzwarting waarop de stabilisator is ingesteld, de op de patiënt geaccumuleerde dosis, de op de buisanode geaccumuleerde belasting, en de voedingsspanning van de gehele apparatuur. Deze laatste wordt gecorrigeerd tot de nominale waarde met behulp van de grote knop links onderaan. De twee knoppen daarboven dienen voor het aanpassen van de zwartingsstabilisator aan de gekozen beeldfrequentie en de filmgevoeligheid. Onder de middelste meter bevindt zich de klok die de verstreken filmduur aanwijst. Met de knop rechts onderaan stelt men de buisspanning in, met de twee daarboven gelegen knoppen de buisstroom voor resp. doorlichten en filmen, en met de bovenste knop rechts kiest men het te gebruiken focus.

worden verbonden met een andere, normale, bedieningslessenaar. Zij kunnen aldus, los van de cinecamera, ook voor conventionele röntgendiagnostische doeleinden worden gebruikt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



**Toepassing van de apparatuur**

De grote afmetingen en het gewicht van de combinatie van 28 cm-beeldversterker met filmcamera maken het onmogelijk, dit toestel te monteren aan een der normaal in de röntgendiagnostiek gebruikte statieven. Een eenvoudige oplossing biedt het verticaal doorstralen van een in rugligging gefixeerde patiënt, met eventuele draaiing van patiënt + röntgenbundel om een horizontale dwarsas. Om de arts ook deze mogelijkheid te geven, die voor bepaalde diagnostische methodes essentieel is, zoals b.v. voor de angiocardiografie (onderzoek der

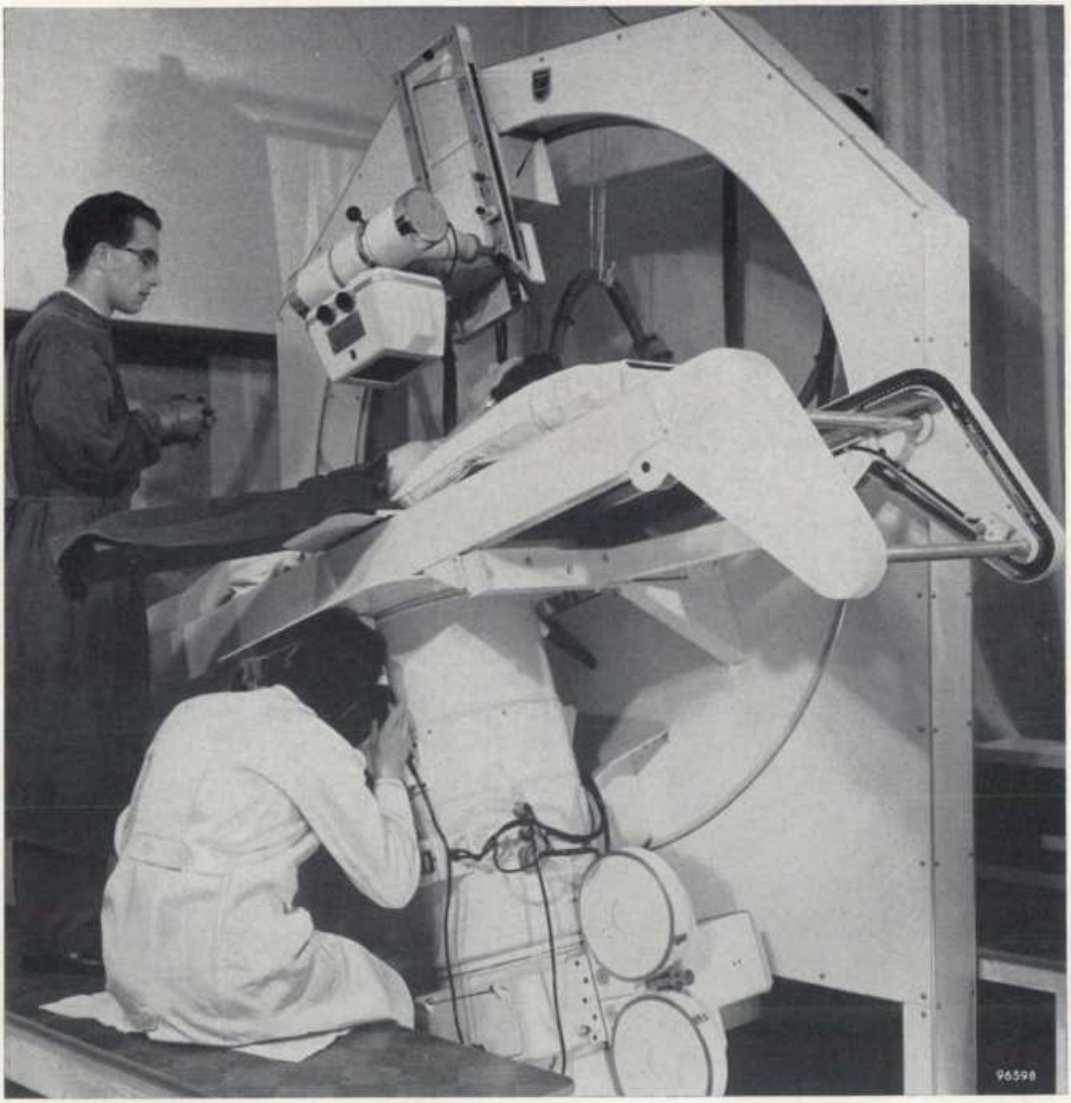



Fig. 12. Ringstatief voor röntgencinematografie. De röntgenbuis (boven) en de cine-apparatuur (onder) zijn zodanig op de ring gemonteerd dat de röntgenbundel langs een middellijn van de ring gelegen is. Het te filmen lichaamsdeel van de patiënt komt vrijwel in het draaicentrum van de ring te liggen. Door draaiing van de ring kan de patiënt in horizontale of verticale stand en zelfs in omgekeerd verticale stand worden gebracht, zonder dat hij zich ten opzichte van de röntgenbundel verplaatst.

vroeger in dit tijdschrift beschreven röntgenstatief „Müller" UGX (fig. 1), dat juist met het oog op de groeiende omvang van de tegenwoordig in zwang komende waarnemingsapparatuur werd ontworpen [8]). Voor vele toepassingen van de röntgencinematografie is dit statief inderdaad zeer geschikt. De eenvoud van het UGX statief is echter verkregen door afstand te doen van één bepaalde, van ouds veel toegepaste, onderzoekingsmogelijkheid: het hartvaten), hebben we voor de cine-apparatuur met 28 cm-beeldversterker een speciaal statief geconstrueerd, gebruik makende van de ervaringen van Janker [6]). De constructie bestaat uit een vast freem, waarin een verticale ring in zijn vlak draaibaar is gelegerd. Het freem is met behulp van voetplaten en twee aan één zijde aangebrachte steunstangen zeer stabiel opgesteld. Aan de andere zijde draagt de ring de röntgenbuis en de cine-apparatuur,

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



met de optische as geplaatst op een middellijn van de ring, en tussen beide het tafelblad voor de patiënt; zie *fig. 12*. De röntgenbuis is langs de ringmiddellijn verschuifbaar ter variatie van de focus-schermafstand. Het draaicentrum van de ring ligt op een hoogte van 165 cm boven de voetplaten. Tafel en cine-apparatuur blijven daardoor bij draaiing vrij van de vloer zonder dat hierin een verdieping behoeft te worden gemaakt, die voor het bedienende personeel lastig en gevaarlijk is. Het tafelblad ligt 15 cm van het draaicentrum af, zodat het te filmen lichaamsdeel, b.v. het hart, vrijwel in het draaicentrum komt te liggen. Eventuele niet aan de ring bevestigde apparatuur voor opnamen in zijdelingse richting (evenwijdig met de ring-as) behoeft daardoor bij draaiing van de ring niet verplaatst te worden. Het tafelblad zelf kan, ter instelling van de patiënt ten opzichte van de röntgenbundel, in zijn eigen vlak over 100 cm in de lengterichting en over 10 cm in de dwarsrichting worden verschoven. Hiertoe is het tafelblad verrijdbaar in het tafelfreem, terwijl dit laatste met rollen over twee dwars op de ring bevestigde staven loopt.

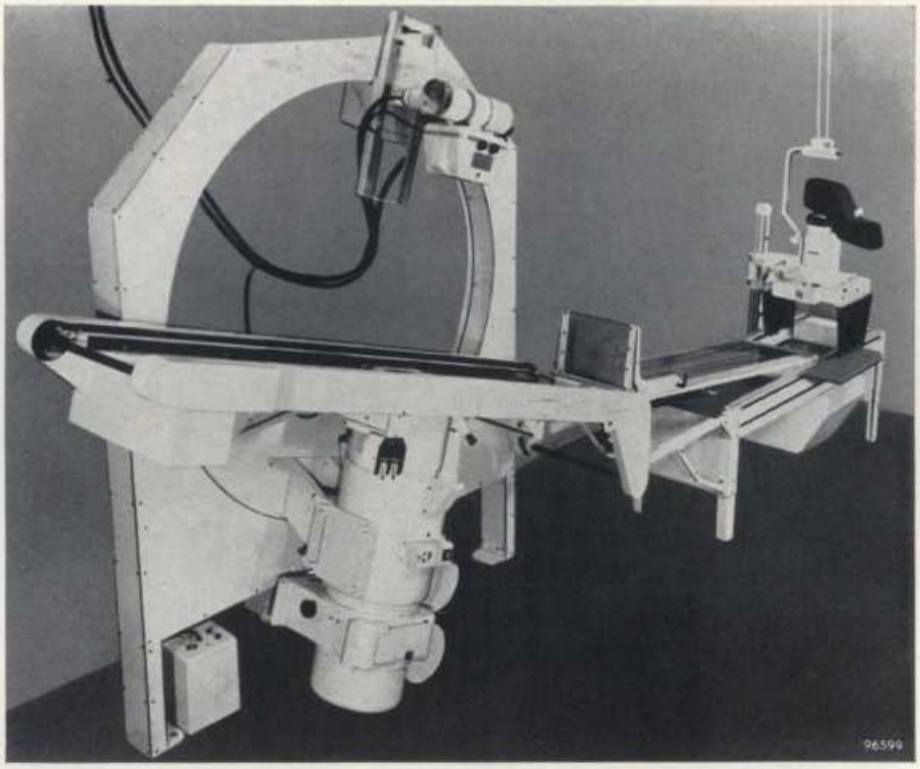


Fig. 13. Opstelling voor angiocardiografie. Voor dit onderzoek wordt eerst via een vena een catheter nabij of in het hart van de patiënt gebracht. Dit wordt gecontroleerd met een 12,5 cm-röntgenbeeldversterker, die men boven de catheterisatietafel gemonteerd ziet. De patiënt moet dan met ingebrachte catheter van de catheterisatietafel naar het ringstatief worden overgebracht. Dit geschiedt, zoals de foto laat zien, door het in U-goten rollende tafelblad met behulp van een kettingaandrijving in het ringstatief te trekken.

Een bijzondere voorziening is getroffen voor de angiocardiografie. Deze wordt in de regel voorafgegaan door een hartcatheterisatie, uitgevoerd op een daarvoor bestemde tafel. Om het vervoer van de patiënt met ingebrachte catheter naar het ringstatief zo eenvoudig mogelijk te maken, hebben we de constructie zo ingericht dat het tafelblad waarop de patiënt zich bevindt, van de catheterisatietafel in het ringstatief kan worden getrokken. In *fig. 13* is te zien hoe dit verloopt, terwijl de figuur tevens een indruk geeft van wat er zoal bij een angiocardiografisch onderzoek komt kijken. Dit onderzoek wordt thans op talrijke plaatsen in de wereld geregeld verricht, en het filmen is daarbij een zeer waardevol hulpmiddel gebleken. Ook de mogelijkheid die onze cine-apparatuur biedt voor gelijktijdige waarneming door twee artsen — röntgenoloog en cardioloog, of eventueel een persoon die zich in de techniek van het onderzoek moet inwerken — komt hier ten volle tot zijn recht.

**Samenvatting.** Daar voor een opname met de röntgenbeeldversterker slechts een geringe dosis röntgenstraling aan de patiënt behoeft te worden toegediend, is de beeldversterker het aangewezen hulpmiddel voor de röntgencinematografie. De vroeger beschreven beeldversterker met een röntgenscherm van 12,5 cm middellijn wordt reeds veelvuldig op deze wijze gebruikt. Een later ontwikkelde grotere beeldversterker, met een scherm van 28 cm middellijn, een reductiefactor 4,5 en een luminantieversterking van ca. 100×, maakt het onderzoek van grote organen mogelijk, zoals hart en longen. Gebruik makende van deze beeldversterker, waarvan de constructie en eigenschappen in dit artikel worden besproken, is een speciale cine-apparatuur voor 35 mm-film geconstrueerd, met een spiegelcamera (effectieve apertuurverhouding 1 : 0,83), een dubbele bekijkoptiek die waarneming van het beeld tijdens het filmen mogelijk maakt, en een helderheidsmeter waarmee men de gemiddelde zwarting van de film kan controleren of desgewenst ook automatisch constant kan houden. In de voeding van de röntgenbuis is een warmte-integrator aangebracht, die ervoor zorgt dat de anode van de buis niet te heet kan worden door te langdurige en zware belasting. De cine-apparatuur kan met röntgenbuis en patiënt-tafel op een ringstatief worden gemonteerd, dat een kantelen van de patiënt tijdens het onderzoek veroorlooft zonder verplaatsing ten opzichte van de röntgenbundel. Geïllustreerd wordt de toepassing van de apparatuur voor de angiocardiografie.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



# AUTOMATISERING VAN LICHTSTERKTEMETINGEN

621.317.39-52: 535.247.4

Het hieronder te beschrijven apparaat dient om het lichtsterktepatroon van bundellichten automatisch te registreren.

Het lichtsterktepatroon bestaat uit een aantal op coördinatenpapier getekende lijnen van gelijke lichtsterkte, de zg. isocandelakrommen. De bepaling van deze krommen geschiedt in principe als volgt.

De te meten lichtbron wordt draaibaar om twee onderling loodrechte assen gemonteerd; de draaiingshoeken om deze assen (b.v. azimut en elevatie) dienen als coördinaten voor het vaststellen van de richting van de lichtbron. Op een voldoend grote afstand van de lichtbron is een geijkte fotocel vast opgesteld. Bij draaiing van de lichtbron tast dus de cel alle richtingen in de lichtbundel af. Men gaat nu uit van een gekozen waarde van de lichtsterkte. Stel dat de lichtbron een zodanige stand heeft dat de verlichtingssterkte op de fotocel juist aan die lichtsterkte beantwoordt: de coördinaatwaarden die bij deze stand van de bron behoren, bepalen een punt dat op de gezochte isocandelakromme ligt. Door draaien van de lichtbron om beide assen kan men andere punten van dezelfde isocandelalijn vinden.

De tot dusverre gevolgde werkwijze bestaat hierin, dat men door systematisch proberen voor elke lichtsterkte een zo groot aantal punten zoekt dat de bijbehorende isocandelakromme met redelijke nauwkeurigheid geschetst kan worden. Het is

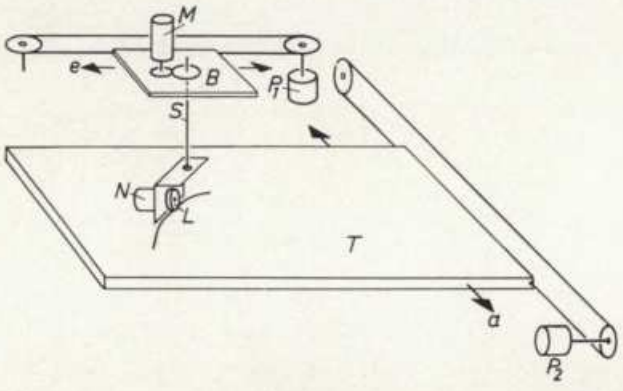
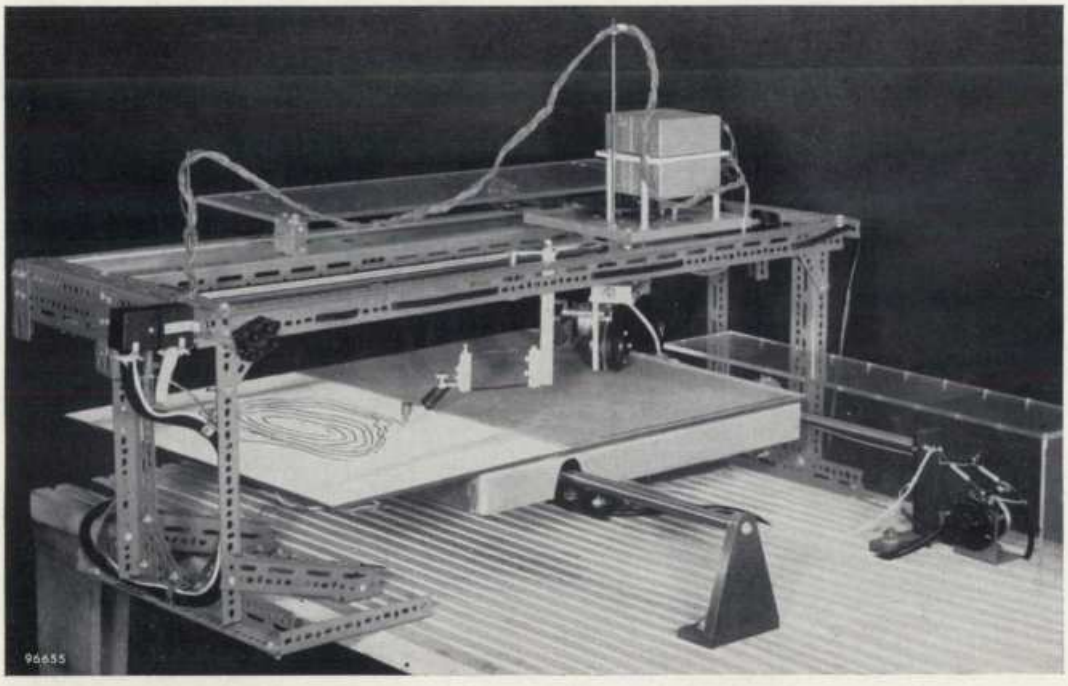



Fig. 1. Schema en foto van het registreergedeelte van het apparaat.
$T$ registratietafel en $B$ slede, beide vrij beweegbaar in (loodrecht op elkaar gerichte) rechtgeleidingen; zij worden in beweging gebracht door het loopwieltje $L$ met aandrijfmotortje $N$. De servomotor $M$ verandert via de stuuras $S$ de richting van het loopwieltje. De positieopnemers $P_2$ en $P_1$ brengen de verplaatsingen van tafel en slede over op de te meten lichtbron.




Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



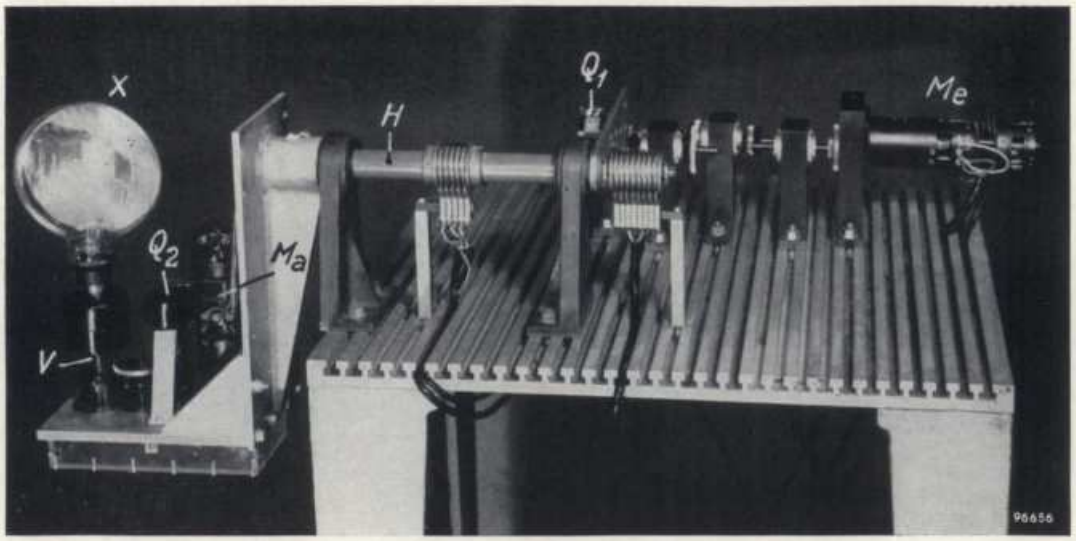



Fig. 2. Houder van de lichtbron met aandrijvingen. De servomotoren $M_a$ en $M_e$, die met behulp van de potentiometers $Q_2$ en $Q_1$ worden bestuurd door $P_2$ resp. $P_1$ in fig. 1, draaien de lichtbron om de vertikale as $V$ resp. om de horizontale as $H$.

duidelijk dat dit een tijdrovende procedure is, vooral als men vrij veel isocandelalijnen nodig heeft, terwijl bovendien elke getekende kromme alleen op de meetpunten zeker met de werkelijke isocandelalijn zal overeenkomen.

Het lichtsterktemeetapparaat, dat in het Natuurkundig Laboratorium is ontwikkeld voor gebruik in het Lichttechnisch Laboratorium van onze lampenfabrieken, ondervangt beide bezwaren. De lichtbron wordt hierin automatisch zodanig gedraaid dat de verlichtingssterkte op de fotocel bij voortduring op een ingestelde waarde wordt gehouden, binnen de vereiste nauwkeurigheid. In het kort kunnen de bouw en de werking van het apparaat als volgt worden beschreven.

De stroom van de fotocel wordt vergeleken met een referentiestroom. Het verschilsignaal, uit deze vergelijking verkregen, wordt gebruikt om een servomotor $M$ (*fig. 1*) te besturen. Deze servomotor zal stilstaan zolang er géén verschilsignaal is, d.i. indien de verlichtingssterkte op de fotocel de gewenste waarde heeft. Bij te grote verlichtingssterkte zal de motor draaien in de ene zin, bij te kleine verlichtingssterkte in de tegengestelde zin. De servomotor $M$ draait via een vertragende tandwieloverbrenging de stuuras $S$. Aan deze as is een houder bevestigd, waarin het loopwieltje $L$ met bijbehorend aandrijfmotortje $N$ is gelegerd. Zowel de registratietafel $T$ als de slede $B$ waarop zich de servomotor $M$ bevindt, kan zich langs rechtgeleidingen bewegen. Zij worden in beweging gebracht door de wrijving tussen het loopwieltje en de tafel. De bewegingen van tafel en slede worden met behulp van positievolgsystemen (zg. elektrische assen, gerealiseerd b.v. met potentiometers en servomotoren) overgebracht naar de te meten lichtbron. De beide assen waarom deze draaibaar is, worden aangedreven door de, bij genoemde positievolgsystemen behorende, servomotoren $M_a$ en $M_e$ (*fig. 2*). De lichtbron krijgt aldus op elk ogenblik een richting (azimut en elevatie) overeenkomende met de positie waarin tafel en slede zich bevinden.

Voor het registreren van een isocandelalijn wordt aan het aandrijfmotortje $N$ een constante stroom gegeven, zodat het loopwieltje $L$ een constante omtrekssnelheid krijgt. Deze snelheid wordt ontbonden in een beweging van de slede $B$ en een beweging van de registratietafel $T$, beide langs hun rechtgeleidingen. Heeft op een gegeven ogenblik de verlichtingssterkte op de fotocel de gewenste waarde, dan is de servomotor $M$, die de stuuras $S$ bedient, stroomloos, het loopwieltje volgt dus een rechte koers ten opzichte van de tafel; of, beter gezegd: tafel en slede bewegen zodanig dat door het loopwiel een rechte lijn op de tafel beschreven wordt. Treedt daarbij, doordat de richting van de lichtbron ten gevolge van de bewegingen van slede en tafel wordt veranderd, een verandering op in de verlichtingssterkte op de fotocel, dan zal dit op ieder ogenblik een zodanige stroom door de servomotor $M$ ten gevolge hebben dat de stuuras met het loopwieltje naar de te volgen isocandelalijn toe wordt gestuurd. De genoemde verandering in de verlichtingssterkte wordt dus gecorrigeerd. Dank zij de voortdurende correctie blijft de stuuras steeds boven de isocandelalijn; een aan de slede aangebrachte schrijfstift tekent deze lijn op het coördinatenpapier, dat men op de tafel heeft bevestigd.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



(Daar alle punten van de slede onderling congruente, alleen evenwijdig verschoven, banen ten opzichte van de tafel beschrijven, kan de schrijfstift op een willekeurige, geschikt gekozen, plaats aan de slede worden vastgemaakt.)

Een voorbeeld van een stel isocandelalijnen die op deze wijze worden geregistreerd, is in *fig. 3* weergegeven. Zoals uit de beschrijving en ook uit dit voorbeeld blijkt, is het met het apparaat mogelijk, in zichzelf gesloten isocandelalijnen — waarmee men bij bundellichten vrijwel uitsluitend te maken heeft — te registreren. De tijdwinst ten opzichte van het met de hand bepalen en tekenen van de lijnen is zeer aanzienlijk.

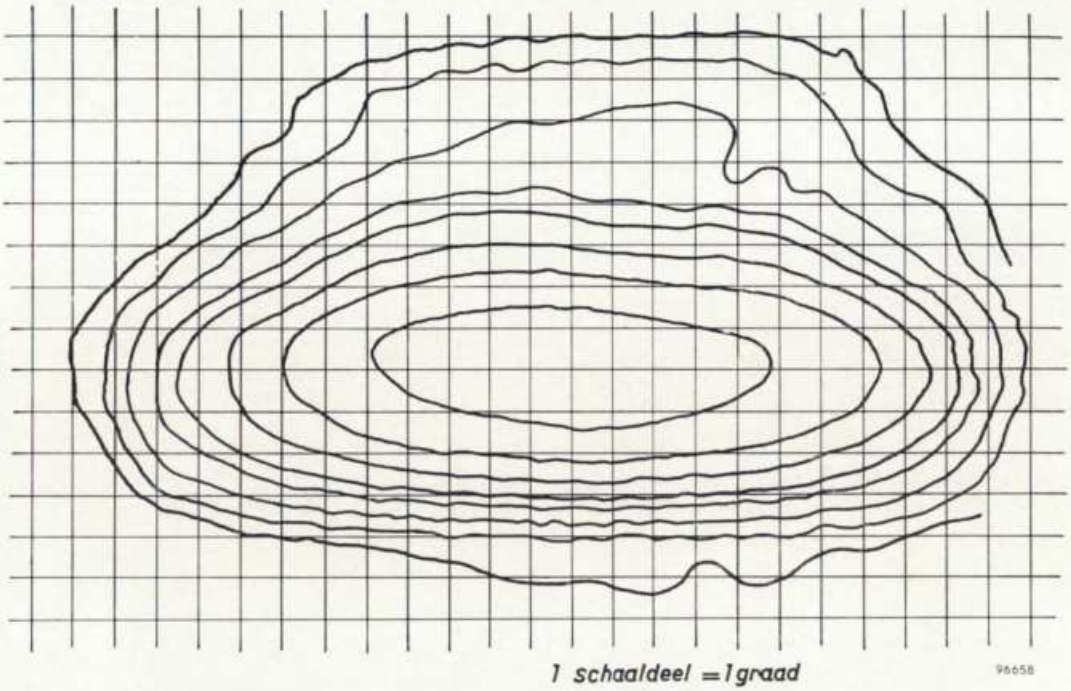



Fig. 3. Isocandelakrommen, geregistreerd door het beschreven apparaat. De krommen hebben betrekking op de in fig. 2 in de houder zichtbare lamp, een bundellicht voor vliegveldbebakening.

Terloops zij nog opgemerkt dat het in fig. 1 afgebeelde registreergedeelte van het apparaat, als men het koppelt met een geschikte meet- en aftastapparatuur, ook gebruikt kan worden voor het automatisch registreren van allerhande andere „iso"-krommen, zoals b.v. de equipotentiaallijnen van een model in een elektrolyttrog.

Bij de constructie van het apparaat deden zich verschillende interessante problemen voor, vooral ten aanzien van de stabiliteit van de beweging. Een beschouwing van de differentiaalvergelijking die het gedrag van het systeem beschrijft, leert dat het ter wille van de stabiliteit gewenst is het loopwieltje $L$ niet, zoals men wellicht zou menen, precies in het verlengde van de stuuras $S$ (fig. 1) te plaatsen, doch op een kleine afstand $d$ van dit verlengde. Een goede werking wordt verkregen indien men voldoet aan de betrekking:

$$\frac{d}{v} \approx \sqrt{kv},$$

waarin $v$ de reeds genoemde constante omtreksnelheid van het loopwieltje is en $k$ een coëfficiënt die samenhangt met de „rondversterking" van de gehele regelketen. Deze voorwaarde en een aantal constructieve details zullen nader worden besproken in een uitvoeriger beschrijving van het apparaat, die te zijner tijd in dit tijdschrift zal worden gepubliceerd.

W. BÄHLER.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



# OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLIKATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

Van deze publikaties, voor zover niet met een sterretje * gemerkt, verstrekt de Administratie van Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven, op aanvraag overdrukken.

**2562:** G. Brouwer en S. van der Meer: A network analog of a statically loaded two-dimensional frame (Proc. Soc. Exper. Stress Anal. **15**, no. 1, 35-42, 1957).

Indien aan bepaalde voorwaarden is voldaan, kan een tweedimensioneel vakwerk van staven worden voorgesteld door een elektrisch analogon dat bestaat uit een netwerk van weerstanden en versterkers in terugkoppelleidingen. De mechanische grootheden als belastende krachten, schuifkrachten, buigende momenten en zakkingen, vindt men in het analogon terug als stromen en spanningen. Het ontwerp van ingewikkelde (ook veelvoudig statisch onbepaalde) vakwerken kan door het gebruik van zo'n analogon snel worden uitgevoerd. Het is mogelijk de methode uit te breiden tot driedimensionele vakwerken.

**2563:** J. D. Fast: Einfluss der Gase beim Lichtbogenschweissen von Stahl (Schweissen und Schneiden **9**, 512-517, 1957, no. 12).

Duitse vertaling van no. **2543**.

**2564:** P. C. van der Willigen: Einfluss von Wasserstoff auf die Eigenschaften der Schweisse (Schweissen und Schneiden **9**, 517-521, 1957, no. 12).

Duitse vertaling van no. **2544**.

**2565:** J. A. M. Dikhoff: Temperaturbestimmungen im Gleichstromkohlebogen (Verslag van het in mei 1956 te Amsterdam gehouden Colloquium Spectroscopicum Internationale VI, verschenen in 1957 als extranummer van Spectrochimica Acta en tevens als boek bij Pergamon Press, blz. 162-167).

Het is van belang de temperatuur te kennen van een koolboog, zoals deze bij de spectrochemische analyse gebruikt wordt. Deze temperatuur werd bepaald uit de intensiteitsverhouding van enige spectraallijnen van zink. Om een regelmatige toevoer van Zn in de boog te bewerkstelligen, werd een speciale elektrode ontworpen. Voor het midden van de onderzochte koolboog in lucht werd een temperatuur van 6100 °K gevonden. De temperatuur blijkt weinig beïnvloed te worden door het te analyseren materiaal, met uitzondering van de alkalimetalen. Er worden enige resultaten gegeven van metingen aan een koolboog in argon resp. argon + zuurstof.

**2566:** N. W. H. Addink: Temperature measurements with reference to spectrochemical analyses (Verslag van het in mei 1956 te Amsterdam gehouden Colloquium Spectroscopicum Internationale VI, verschenen in 1957 als extranummer van Spectrochimica Acta en tevens als boek bij Pergamon Press, blz. 168-178).

Uit metingen aan een gelijkstroomkoolboog voor spectrochemische analyse, tussen elektrodes met een diameter van 10 mm waarvan de afstand gevarieerd werd, is gebleken dat de temperatuur van de zuil (kern van de ontlading) 6100 °K bedraagt als de elektrodeafstand de betrekkelijk grote waarde van 9 mm heeft (zie ook no. **2565** van deze overzichten), en dat deze temperatuur tot ca. 6700 °K oploopt als men de elektrodeafstand tot 2 mm verkleint. Voorts blijkt uit de metingen dat elementen met ionisatiespanningen groter dan 7,5 eV en kleiner dan 7 eV resp. in de zuil en in de mantel (temperatuur ca. 4000 °K) worden aangeslagen.

Dank zij de betrekkelijk grote elektrodediameter van 10 mm heeft de verdamping van het te analyseren materiaal slechts een geringe invloed op de temperatuur: de alkalimetalen verlagen de temperatuur slechts met 500 °K, aluminium met 300 °K, terwijl elementen met ionisatiespanningen van 7 tot 11 eV de temperatuur in het geheel niet verlagen. Door middel van grafieken wordt een vergelijking gemaakt met andere koolbogen. Dan blijkt dat de onderzochte boog onder uiteenlopende omstandigheden een betrekkelijk constante temperatuur bezit. Dit komt de nauwkeurigheid van de ermee uitgevoerde spectrochemische analyses ten goede. Een lijst van berekende en experimenteel gevonden grenzen van aantoonbaarheid van verschillende elementen besluit het artikel.

**2567:** J. Ugelstad en J. de Jonge: A kinetical investigation of the reaction between amides and formaldehyde (Rec. Trav. chim. Pays-Bas **76**, 919-945, 1957, no. 11).

Kinetisch onderzoek van de reacties van formaldehyde met carbonzuuramides en met ureum. Het blijkt dat methylolverbindingen volgens bimoleculaire reacties worden gevormd en dat de ontleding van deze stoffen volgens monomoleculaire reacties geschiedt. De vormings- en de ontledingsreactie worden beide gekatalyseerd door $H_3O^+$- en $OH^-$-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



ionen, terwijl zij tevens algemene zuurkatalyse vertonen. Bij het systeem ureum-formaldehyde werd algemene basekatalyse geconstateerd. De auteurs hebben voor de reacties van formaldehyde met amides een mechanisme opgesteld, dat ook geldt voor de reactie met ureum.

De snelheid waarmee methylolamides ontleden in sterk basische oplossingen, blijkt onafhankelijk te zijn van de concentratie van de $OH^-$-ionen. De zuurdissociatieconstante van enkele methylolamides werd bepaald; hij bedraagt ca. $10^{-14}$ mol per liter bij 0 °C. Voor verscheidene amide-formaldehydesystemen zijn de evenwichtsconstanten ruwweg gelijk, nl. ca. 22 liter per mol bij 25 °C. Deze waarde is onafhankelijk van de $p_H$ (onderzocht gebied van $p_H = 2$ tot $p_H = 12$). De snelheden van de reacties tussen formaldehyde en de verschillende amides lopen uiteen. De verhoudingen van deze snelheden zoals deze in basisch milieu werden gemeten, worden besproken.

**2568*:** H. Bremmer: Comparaison des fluctuations de l'amplitude et de la phase des champs engendrés par diffusion (champs de turbulence) (Onde électr. **37**, 498-500, mei 1957).

Dit artikel behandelt enkele punten uit de statistische theorie van sluieringsverschijnselen („fading"-verschijnselen) voor microgolven waarvan de voortplantingssnelheid sterk afhangt van verstrooiing in de atmosfeer. In het bijzonder wordt de toestand op grote afstanden van de zender vergeleken met die binnen horizonsafstand. Speciale aandacht wordt daarbij gewijd aan het verschil tussen de sluieringssnelheid voor de amplitude en die voor de faze op elk van de twee genoemde plaatsen. De in het artikel gevolgde rekenmethode levert een verschil van beide sluieringssnelheden op dat tot nul nadert voor afnemende afstanden binnen de horizon, maar dat eindig is op plaatsen ver achter de horizon.

**2569:** N. Warmoltz en H. A. M. de Grefte: Spectromètre de masse pour détection des fuites, fonctionnant avec un mélange à faible teneur en hélium (Le Vide **12**, 202-207, 1957, no. 69).

Beschrijving van een methode om lekken op te sporen in een vacuümsysteem, waarbij op de verdachte plaatsen aan de buitenzijde een gasmengsel wordt gespoten dat ca. 1% helium bevat. Met een massaspectrometer wordt nagegaan of er helium naar binnen dringt. Door het geringe heliumgehalte wordt verspilling van helium voorkomen. Om toch kleine lekken te kunnen vinden, moet de methode van detectie uiterst gevoelig zijn. Daarom worden de afgebogen heliumionen opgevangen in een versnellingssysteem, dat ze schiet op de eerste dynode van een fotomultiplicatorbuis waarvan de fotokatode is verwijderd. De massaspectrometer is van het type volgens Nier en buigt de ionen langs een cirkel met een straal van 5 cm. Het apparaat kan tevens worden gebruikt voor de analyse van het gas in het vacuümsysteem. Gasmoleculen met massa's tot ca. 50 kunnen worden geregistreerd.

---

**Verschenen zijn:**

A. H. Bruinsma: Multivibratorschakelingen. Inleiding in de robottechniek (Philips' Technische Bibliotheek, populaire reeks, 1958, VIII + 69 blz., 41 figuren).

A. H. Bruinsma: Practische robotschakelingen. Electronische zintuigen en zenuwstelsels (Philips' Technische Bibliotheek, populaire reeks, 1958, VIII + 133 blz., 53 figuren in de tekst en 8 foto's buiten de tekst).

Het eerste van de bovengenoemde populaire boeken geeft in twee hoofdstukken (I. Multivibratorschakelingen, II. Vensterbuizen) een geheel op de praktijk gerichte basisuiteenzetting van multivibratorschakelingen. De kennis van dit boek is wenselijk voor een goed begrip van het tweede boek. De hoofdstukken hiervan zijn als volgt getiteld: I. Enkele grondprincipes van robotschakelingen, II. Electronische zintuigen, III. Electronische hersenen, IV. Enkele problemen bij de verwezenlijking van de robot, V. Electronisch intellect.

P. van der Ploeg: Constructie en onderhoud van industriële electronische apparaten (Philips' Technische Bibliotheek, populaire reeks, 1958, X + 106 blz., 32 foto's buiten de tekst en 20 tekeningen).

Het hier aangekondigde boekje bevat talrijke praktische wenken voor de constructeur en de onderhoudsman van elektronische toestellen. De hoofdstukken zijn getiteld als volgt: 1. Functie van het apparaat, 2. De laboratoriumproef, 3. Het prototype, 4. Productie, 5. Opstelling en ingebruikneming, 6. Doel van het onderhoud en de praktijk, 7. Onderhoud, 8. Storingzoeken. In een aanhangsel zijn gegevens van elektronenbuizen verzameld en toegelicht.

---

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!